

# **PLANIFICACIÓN DE UNA RED CELULAR DE TERCERA GENERACIÓN**

---

---

PRESENTA:

**Alejandro Domínguez Salazar**

## **TESIS**

Para obtener el título de:  
Ingeniero Mecánico Eléctrico  
Área Eléctrica Electrónica

Director de Tesis:

Ing. Enrique García Guzmán



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**

**MÉXICO**

**2004**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# PLANIFICACIÓN DE UNA RED CELULAR DE TERCERA GENERACIÓN



# PLANIFICACIÓN DE UNA RED CELULAR DE TERCERA GENERACIÓN

|  |     |
|--|-----|
| Objetivo general   | I   |
| Justificación  | II  |
| Introducción   | III |
| <b>Capítulo 1</b>  |     |
| Las Comunicaciones Móviles de Tercera Generación                               |     |
| 1.1 Introducción a los Sistemas Celulares                                      | 1   |
| 1.1.1 Sistema Celular Básico   | 3   |
| 1.2 Tráfico Celular  | 6   |
| 1.2.1 Llamada hacia una MS   | 6   |
| 1.2.2 Llamada desde una MS   | 11  |
| 1.3 ¿Por que una nueva Generación de Móviles?                                  | 15  |
| 1.4 Evolución de la Interface aire. Nuevos Requisitos para la 3G               | 16  |
| 1.5 Evolución de GSM a UMTS  | 18  |
| 1.6 HSCSD y GPRS como componentes de GSM                                       | 19  |
| 1.7 SIM Modulo de Identificación del Subscriber                                | 20  |
| <b>Capítulo 2</b>  |     |
| Aspectos para el Desarrollo de Sistemas de Tercera Generación                  |     |
| 2.1 Introducción   | 23  |
| 2.2 UMTS / IMT2000   | 24  |
| 2.2.1 Definición de aspectos influyentes y requisitos para tercera generación. | 27  |
| 2.2.2 Aspectos para el desarrollo de sistemas de tercera generación.           | 29  |
| 2.2.3 Interface Aérea  | 30  |
| 2.3 Bandas de Frecuencia   | 31  |
| 2.4 Aspectos Gubernamentales   | 33  |
| 2.5 Aspectos de Evolución  | 34  |
| <b>Capítulo 3</b>  |     |
| Componentes de GPRS sobre una Red GSM  |     |
| 3.1 Introducción a GSM   | 36  |
| 3.2 Arquitectura de la Red   | 39  |
| 3.3 Subsistemas de GSM   | 53  |
| 3.3.1 La Estación Móvil (MS)   | 54  |
| 3.3.2 El Sistema de Estación Base (BSS)  | 54  |
| 3.3.3 El Subsistema de Red (NSS)   | 56  |
| 3.3.4 Centro de Operaciones y Mantenimiento (OSS)                              | 58  |
| 3.4 Interface de Radio   | 59  |
| 3.5 Frecuencias y Canales Lógicos  | 61  |
| 3.6 Componentes de GPRS sobre una red GSM                                      | 68  |

## Capítulo 4

|  |     |
|--|-----|
| Planificación Celular de Tercera Generación            |     |
| 4.1 Introducción a la Planeación Celular               | 76  |
| 4.2 Dimensionamiento de Tráfico y Canales              | 78  |
| 4.2.1 Utilización de Canales                           | 81  |
| 4.3 Datos de la Interface Aérea                        | 82  |
| 4.3.1 Plan Celular Nominal                             | 84  |
| 4.3.2 Ondas de Radio                                   | 85  |
| 4.3.3 Tipos de Antenas                                 | 86  |
| 4.3.4 Modelo de Radiación                              | 87  |
| 4.3.5 Inclinação de Antenas                            | 91  |
| 4.3.6 Generación de Ondas de Radio                     | 91  |
| 4.3.7 Propagación de las Ondas de Radio                | 94  |
| 4.3.8 Variaciones de la señal                          | 97  |
| 4.3.9 Equilibrio del Sistema                           | 98  |
| 4.4 Dimensionamiento Celular                           | 101 |
| 4.4.1 Magnitudes del Modelo Celular                    | 108 |
| 4.5 Estudio de la Red de Radio                         | 109 |
| 4.6 Reusó de Frecuencias                               | 112 |
| 4.6.1 Estrategias para asignación de Canales           | 116 |
| 4.6.2 Interferencia y Capacidad del Sistema            | 117 |
| 4.7 Decibeles, Pérdida y Ganancia de una señal         | 122 |
| 4.7.1 Amplificadores y Atenuadores                     | 123 |
| 4.7.2 Relación Ganancia – Pérdida                      | 124 |
| 4.7.3 Ganancia de la Señal                             | 126 |
| 4.7.4 Nivel de Potencia y Nivel de Voltaje del Sistema | 127 |
| Conclusiones   | 129 |
| Apéndice A Referencias                                 | 131 |
| Apéndice B Tabla de Erlang Loss formula                | 133 |
| Apéndice C Proyecciones Celulares                      | 139 |
| Apéndice D Patrón de Frecuencias de Antenas            | 146 |
| Apéndice E La BTS y sus Componentes                    | 149 |
| Lista de Acrónimos y Términos                          | 151 |
| Bibliografía   | 156 |

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una temática sobre la planificación de una red de tercera generación de comunicaciones móviles para poder entender el proceso de una red de radio y los elementos que la contienen.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Investigar y elaborar la documentación necesaria que sirva de introducción al entorno de la planificación celular de tercera generación.

Realizar un compendio de los puntos a seguir para una buena planificación celular de tercera generación.



## JUSTIFICACIÓN

Las telecomunicaciones celulares es una de las aplicaciones de mayor crecimiento y demanda a nivel mundial, es por eso la necesidad de realizar una evaluación apropiada de las comunicaciones móviles existentes y tener una plataforma tecnológica que nos lleve a un avance en las comunicaciones móviles.

Se busca aportar de manera significativa procesos y elementos que contengan una planeación e implementación de una red celular de tercera generación que serán utilizadas para nuevas tecnologías futuras en nuestro país.

## Tecnología

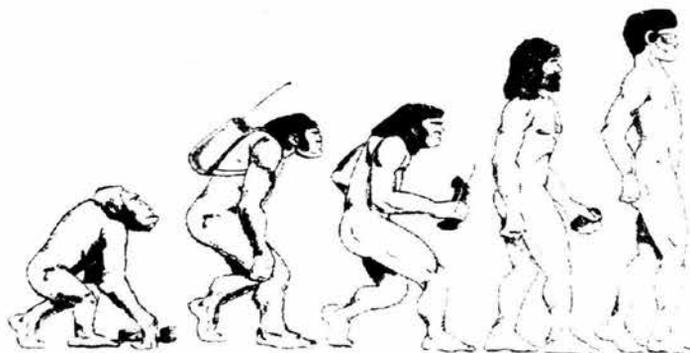


## INTRODUCCIÓN

La comunicación móvil está cambiando el comportamiento de la sociedad.

Los teléfonos móviles han llegado a ser un accesorio de todos los días para cientos de millones de personas, y también se están usando cada vez más como el único medio de comunicación de voz personal. Pero la tercera generación de comunicación móvil que va apareciendo significa más que la capacidad de comunicación de voz en cualquier sitio y en cualquier tiempo. Esta hace que los servicios de información sean disponibles al instante e introduce una manera de hacer negocios más potente y flexible. Los servicios multimedia móviles y las soluciones de oficina móviles inalámbrica simplificará la implementación de empresas virtuales.

La aparición del teléfono móvil celular a principios de los años ochenta significó un cambio decisivo en las telecomunicaciones. En enero de 1998 había en el mundo más de 207 millones de usuarios de telefonía móvil, y se prevé que la cifra aumentará a 830 millones a finales del año 2004. Hoy, en muchos países el costo de las llamadas celulares está descendiendo y acercándose al nivel de las llamadas por los teléfonos fijos.



La tercera generación de comunicación móvil está anunciando nuevos cambios.

Mientras que la comunicación móvil está ahora centrada en voz, ofreciendo los beneficios de contacto de voz de persona a persona en cualquier sitio y en cualquier tiempo, se está transformando en un

mercado en masa de servicios y terminales multimedia móviles personales. La comunicación móvil de tercera generación hará mucho más que traer capacidades de telecomunicación de voz. Esta hará disponible los servicios de información de forma instantánea, incluyendo la Internet, las intranets, y servicios de entretenimiento. Por ejemplo, los terminales de tercera generación podrían funcionar como una cámara de video desde la cual los usuarios finales pueden enviar postales electrónicas, clips y recortes audiovisuales a cualquier otro dispositivo móvil o por correo electrónico.

El próximo avance significativo en la comunicación móvil traerá progresos en el acceso por radio que permitirán prestar auténticos servicios multimedia a velocidades de transmisión de bit muy altas.

Los nuevos sistemas de banda ancha de la tercera generación ofrecerán velocidades de hasta 384 kbit/s en cobertura de banda ancha, y de 2 Mbit/s en aplicaciones fijas y aprovecharán al máximo la eficiencia del espectro radioeléctrico disponible. Las actuales redes celulares digitales y normas también evolucionarán para proporcionar posibilidades similares.

En la tercera generación, la planificación de redes de radio será muy distinta a lo que era para los sistemas anteriores, para los cuales era principalmente cuestión de asegurar que las estaciones base ó Radio Bases podían manejar la densidad de usuarios prevista. Después de todo, la gran mayoría de usuarios estaría haciendo más o menos lo mismo: hablando.

La presencia de redes GSM con capacidades HSCSD y GPRS brindará enormes oportunidades. Los operadores podrán ofrecer, de manera fluida y rápida, servicios básicos de voz y mayores velocidades para servicios de datos, sobre grandes extensiones geográficas. Esto es posible porque la tercera generación será diseñada para lograr su interoperabilidad con sistemas GSM. Para apoyar la interoperabilidad, serán implementados mecanismos y procedimientos de transferencia entre sistemas.

Para ser exitosa, la planificación de redes de radio implica una estrecha colaboración con los departamentos encargados de la adquisición de los lugares para la instalación, las obras civiles y la puesta en marcha. La planificación comienza con una fase de definición, en la cual se toman en cuenta los requerimientos y los activos del operador, de acuerdo con los requisitos de las licencias y las exigencias de los diversos elementos de la red. Con base a los resultados, y las posibles decisiones

provenientes de la fase de definición, se dimensiona la red para asegurar que pueda funcionar con la carga prevista. Los resultados comprenden el cálculo aproximado del número de elementos de la red y sus configuraciones, así como una propuesta inicial para un plan de instalación.

El siguiente paso es realizar la planificación detallada, donde se identifican y se adquieren los verdaderos sitios de instalación para su integración en la red. El tercer paso del proceso es la fase de operación, y mantenimiento, también conocida como la fase del cuidado. En esta fase se inspecciona el desempeño de la red a través de mediciones y la recolección de datos relevantes. Basándose en los indicadores clave obtenidos para el rendimiento, se toman decisiones referentes a las acciones de optimización requeridas para mantener o aumentar la calidad de la red. Tales acciones incluyen cambios físicos estándares como ajustes en la ubicación, el azimut o la inclinación de las antenas, así como una planificación más complicada y detallada de los parámetros.

Es importante reconocer que el proceso de planificación de radio tiene que responder a las expectativas de los diferentes operadores y los servicios al cliente que planean lanzar.

También tiene que ser tomada en cuenta la distribución de servicios en la red porque la distribución de usuarios puede variar entre servicios. Además, se debe considerar el hecho de que servicios tales como los buscadores en Internet requieren de una mayor capacidad para los enlaces de recepción que para los enlaces de transmisión.

Durante los últimos años, la telefonía móvil está experimentando en el ámbito mundial un crecimiento tan espectacular que cualquier previsión sobre su futuro corre el peligro de quedarse rápidamente obsoleta. Este período de rápidos crecimientos globales está obligando a la industria y a los organismos de normalización a desarrollar sistemas capaces de satisfacer las necesidades de una demanda cada vez más exigente. En esta línea de evolución, las nuevas comunicaciones personales garantizan un nivel de servicio en función del perfil del usuario, independientemente del terminal que utilice. Y más allá, los conceptos UMTS e IMT-2000 prometen una tercera generación de sistemas móviles capaces de ofrecer, además de los servicios móviles actuales (voz, mensajes cortos y datos a baja velocidad), prestaciones multimedia y de alta velocidad.

## Capítulo 1

### Las Comunicaciones Móviles de Tercera Generación

#### 1.1 Introducción a los Sistemas Celulares

El objeto de las COMUNICACIONES MÓVILES es el denominado SERVICIO MÓVIL, definido como "el Servicio de Radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles".<sup>1</sup>

Las comunicaciones móviles no son nada nuevo. Existen desde principios del siglo pasado y se han utilizado, de forma algo tímida, en multitud de aplicaciones, en muchos casos relacionadas con la defensa o la administración del estado.

Los sistemas de telefonía móvil, también llamados sistemas celulares, permiten que un terminal móvil pueda efectuar y recibir llamadas telefónicas normales, manteniéndose la comunicación aunque el móvil se desplace, siempre que lo haga dentro del área de cobertura del servicio.

Así la estructura de la red se basa en la conexión de los terminales móviles al sistema a través de una serie de estaciones base repartidas por un área geográfica, que dependen de un sistema de conmutación (centrales de servicios móviles), que permiten la interconexión entre bases y la conexión del sistema a la red pública. La base (BTS), controla la conexión vía radio de los terminales móviles, y permiten tener permanentemente localizados a los abonados dentro de la red celular. La central de conmutación móvil (MSC), realiza la conexión entre los distintos abonados o entre éstos y la red telefónica fija.

Las principales características de un sistema celular son:

- Gran capacidad de usuarios.
- Utilización eficiente del espectro.
- Amplia cobertura.

El enlace entre el terminal y la red debe mantenerse cuando éste pasa de una célula a otra o de una central a otra (handover), y cuando la red identifica la posición del móvil, realizando su seguimiento en otra área de cobertura (roaming).

No cabe duda de que la movilidad generalizada, asociada a una amplia oferta de servicios de voz y datos, presenta una serie de beneficios para los usuarios, no en vano exige una tecnología más avanzada, interoperabilidad entre todas las redes por las que el usuario se mueve y unos sistemas de señalización muy potentes para garantizar la rapidez en el establecimiento de la comunicación, su seguridad y un importante flujo de datos, ya que se utilizan aplicaciones multimedia que demandan un gran ancho de banda.

Con los sistemas celulares de tercera generación se tendrán aplicaciones como poder enviar textos o fotos, clips y películas a cuentas de e-mail o a otros teléfonos, bajar de Internet juegos, música, tonos, navegar en la red y una gran variedad de aplicaciones.

Existían dos grandes factores que limitaban la expansión de esta forma de comunicación: el recurso radioeléctrico (muy limitado en bandas de frecuencia, debido a la tecnología disponible) y el precio de los sistemas y terminales.

La utilización de frecuencias cada vez más elevadas, una serie de invenciones clave (la reutilización de frecuencias, los métodos de modulación y codificación, etc.) y, sobre todo, la posibilidad tecnológica de poder fabricar sistemas extraordinariamente complejos, han abierto un mercado cuya expansión está resultando sorprendente.

Los servicios de comunicaciones móviles y muy en especial la telefonía móvil celular, han constituido uno de los ámbitos de desarrollo tecnológico que más rápidamente y fuertemente han penetrado en la vida social y económica. Ninguna tecnología hasta el momento ha pasado tan rápidamente de su puesta en marcha inicial a su utilización masiva por millones de personas en todo el planeta.

El desarrollo del mercado de las telecomunicaciones, cuyos dos motores principales son las comunicaciones móviles e Internet, esta siendo espectacular, y todas las perspectivas indican que va seguir siéndolo en las próximas décadas. Entre los factores que colaboran a hacer realidad este fenómeno cabe destacar los esfuerzos que en materia de estandarización están haciendo todos los países industrializados, en especial con la idea básica de unificar todos los sistemas a nivel global.

Este hecho ayudara a potencializar la liberación del mercado, la libre competencia, la interconexión total de las redes de comunicaciones existentes, y por tanto el acceso a todos a estos servicios de grandes masas de población.

### **1.1.1 Sistema Celular Básico**

Este sistema es el que se encarga de establecer y administrar las llamadas entre los teléfonos móviles y cualquier otro tipo de teléfono.

La demanda por parte de los usuarios de comunicaciones móviles que les permitan a éstos moverse a través de edificios, ciudades o países, ha llevado al desarrollo de nuevas redes de comunicaciones móviles.

El sistema de telefonía celular es el responsable de proporcionar cobertura a través de un territorio particular, llamado región de cobertura o mercado. La interconexión de muchos de estos sistemas define una red inalámbrica capaz de proporcionar servicios a los usuarios móviles a través de un país o continente.

### **RED BASICA.**

La red básica consiste principalmente de los siguientes componentes:

Red Móvil Terrestre Pública (PLMN).  
Sistema de Señalización (SS).  
Registro de Localización de casa (HLR).  
Red de Telefonía Conmutada Pública (PSTN).

### **PLMN.**

La Red Móvil Terrestre Pública (PLMN) es la red formada por un sistema celular. Los componentes de esta estructura consisten en:

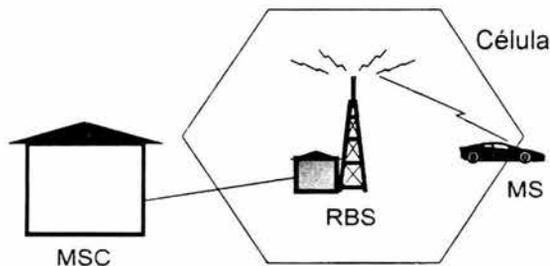
- MS (Sistema Móvil)
- RBS (Radio Base)
- MSC (Centro de Conmutación Móvil)

La Célula es la unidad básica de la PLMN. Una red de telefonía móvil está dividida en varias células. Cada célula es controlada por una RBS la cual está conectada a un MSC.

Un número de células pueden ser agrupadas juntas para formar una Área de Localización (LA).

Un número de áreas de localización, controladas por un MSC, pueden ser agrupadas para formar un Área de Servicio (SA). Una o más áreas de servicio se combinan para formar la PLMN.

### *Sistema Celular Básico*



## **SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN.**

Los protocolos del Sistema de Señalización fueron desarrollados para implementar comunicaciones con redes de telecomunicaciones. La principal función es transferir mensajes entre las redes de conmutación en un formato estándar que pueda ser leído por cualquier red compatible.

### **HLR.**

El HLR actúa como un punto de almacenamiento para datos de abonados y soporta una variedad de redes inteligentes inalámbricas (WIN).

El HLR envía información acerca del abonado y de su localización hacia otros elementos de la red usando el sistema de señalización.

## **RED DE TELEFONÍA CONMUTADA PÚBLICA (PSTN).**

La PLMN es una red compuesta por componentes celulares. La Red de Telefonía Conmutada Pública (PSTN) se compone de conmutadores, bases de datos y enlaces para clientes de líneas terrestres. Las redes celulares se conectan a la PSTN para enrutar llamadas móviles a teléfonos de línea terrestre y proveer servicios como Roaming, Registro y Handoff para crear una red eficiente y de fácil expansión.

Para proporcionar comunicaciones inalámbricas dentro de una región particular geográfica (por ejemplo una ciudad), se debe emplear una red integrada de estaciones base para proporcionar la suficiente cobertura de radio a todos los usuarios móviles. Las estaciones base, a su vez, deben estar conectadas a un eje central llamado Centro de Conmutación Móvil (MSC). El MSC proporciona conectividad entre la Red Telefónica de Conmutación Pública (PSTN) y las numerosas estaciones base, y por último, entre todos los abonados móviles de un sistema. La PSTN forma la red de telecomunicaciones global que interconecta los centros de conmutación de telefonía convencional (terrestres), llamados oficinas centrales, con los MSC de todo el mundo.

Para conectar a los abonados con las estaciones base, se establecen enlaces de radio usando un protocolo de comunicaciones cuidadosamente definido. La interfaz de radio (IR) debe asegurar una gran fiabilidad en el canal para asegurar que los datos se envían y se reciben correctamente entre el móvil y la estación base, y es por ello por lo que se realizan una codificación de la voz (de la fuente) y una codificación del canal.

En la estación base, los datos de señalización y sincronización se descartan, y el resto de información de voz (o datos), se pasan a través del MSC hasta las redes fijas. Mientras que cada estación base puede gestionar del orden de unas 50 llamadas simultáneas, una MSC típica es responsable de conectar hasta 100 estaciones base a la PSTN (hasta 5000 llamadas a la vez), y es por eso que la interfaz entre el MSC y la PSTN requiere una gran capacidad en cualquier instante de tiempo. Está claro que las estrategias de red y los estándares pueden variar mucho dependiendo si se está sirviendo a un circuito simple de voz, o a una población metropolitana completa.

De manera general, las principales funciones del MSC son:

1. Proporcionar la conexión entre la PSTN y las radio bases celulares (BTS).
2. Facilitar la conexión móvil a móvil, móvil a PSTN, PSTN a Móvil y MSC a redes PSTN.
3. Administrar, controlar y monitorear las distintas actividades relacionadas con el procesamiento de llamadas.
4. Llevar un record detallado de cada llamada realizada, para efectos de facturación.

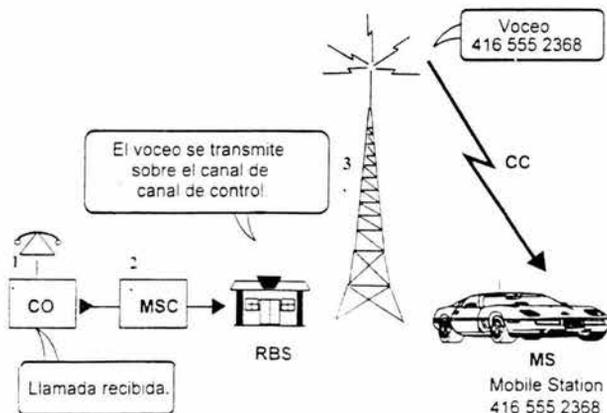
Las estaciones base o RBS son localizadas de manera adecuada en distintos puntos dentro del área de servicio y son el corazón de cada célula.

El área de cobertura de una radio base (tamaño de célula) puede variar desde menos de 1 kilómetro a algunas decenas de kilómetros, esto depende del ambiente de propagación (urbano, rural, semi-urbano, urbano-denso) y de la densidad de tráfico. Por ejemplo, en un ambiente urbano-denso el radio de la célula podría variar desde 1 Km. hasta 5 Km.

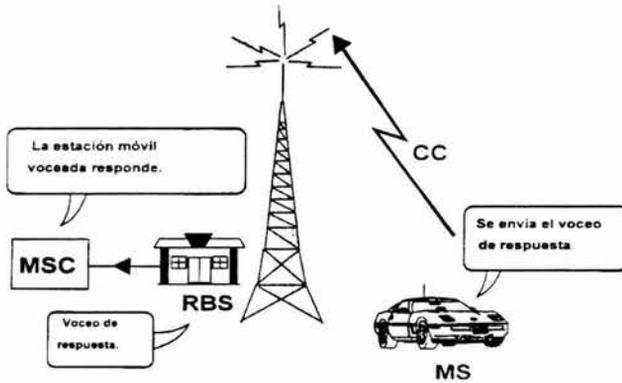
## 1.2 Tráfico Celular

### 1.2.1 LLAMADA HACIA UNA ESTACION MÓVIL.

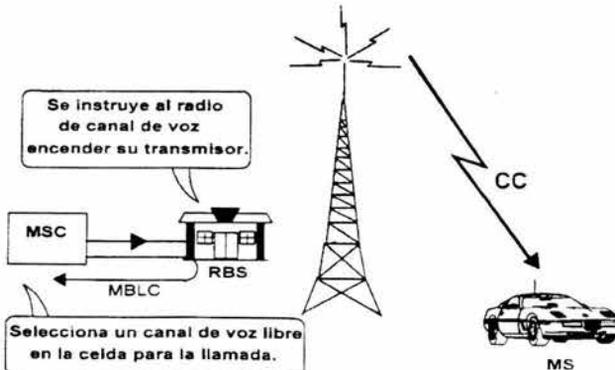
1. Una llamada a una estaciona móvil se recibe por la MSC.
2. Todas las Radio Bases reciben un voceo que contiene el MIN1 y el MIN2 dentro del área de localización donde el móvil tuvo su último registro.
3. La RBS transmite el voceo en el canal de control hacia adelante.



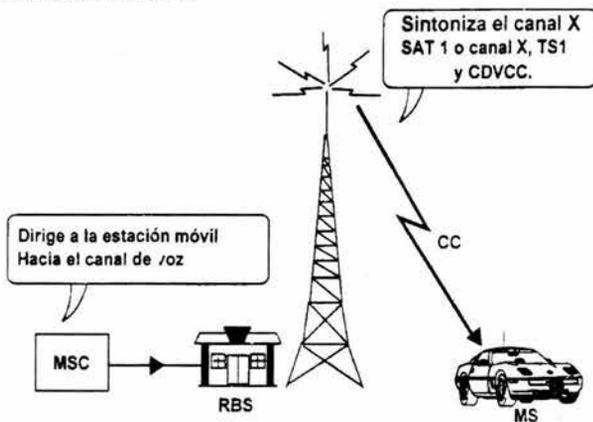
4. La estación móvil se encuentra en un estado libre para sintonizarse al canal de control más fuerte.
5. La estación móvil recibe el voceo y compara la recepción del MIN con la propia.
6. Si la estación móvil reconoce este MIN, envía una respuesta al voceo en el canal de control hacia atrás (acceso).
7. La Radio\_Base responde al voceo.



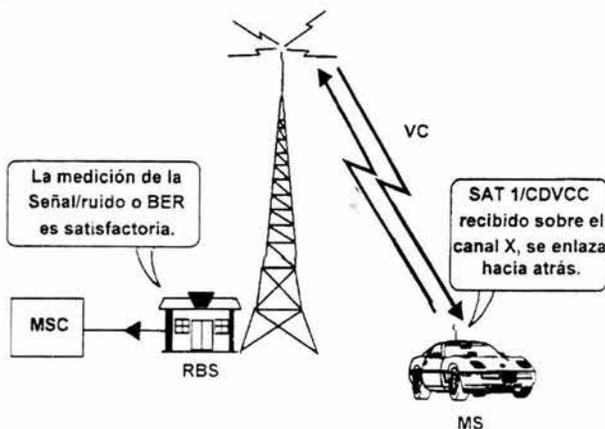
8. La MSC selecciona un canal de voz libre en la célula. Basado en un protocolo que indica el tipo estaciones móviles. La MSC selecciona otro canal de voz analógico o digital. Si no existen canales digitales disponibles, el MSC selecciona un canal analógico.
9. La MSC realiza un chequeo de línea en ambas direcciones del móvil para asegurar la continuidad de la trayectoria hacia el radio del canal de voz.
10. La MSC envía un tono de 2KHz hacia el radio del canal de voz.
11. El radio de el canal de voz regresa el tono de hacia la MSC.
12. 10 La MSC ordena la selección del radio de canal de voz para sintonizar al transmisor.



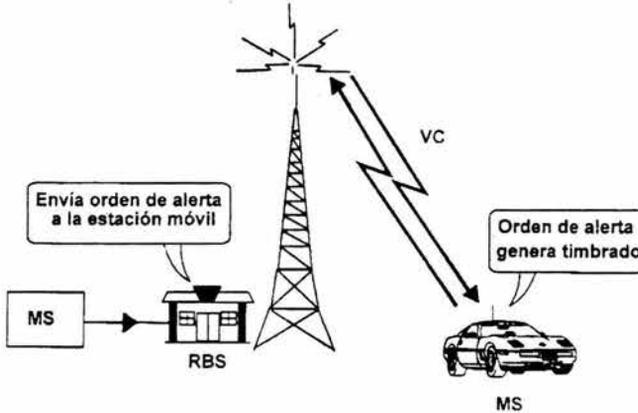
13. La MSC ordena a la Radio Base direccionar a la estación móvil hacia el canal de voz seleccionado y el SAT (analógico), ó al timeslot.
14. El mensaje se transmite en el canal de control hacia adelante para la estación móvil.



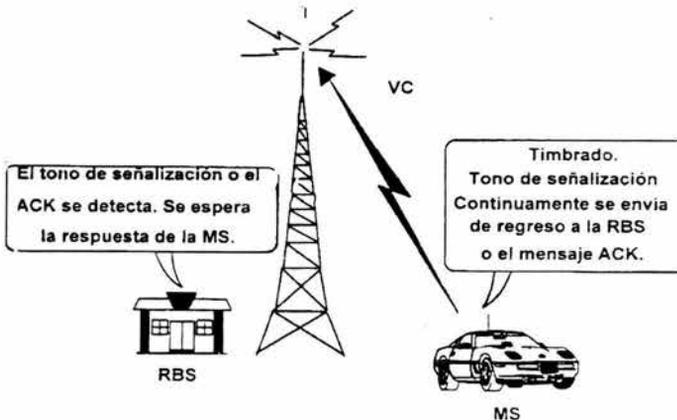
15. La estación móvil se sintoniza al canal de voz y se alinea a un timeslot.
16. Cuando la estación móvil recibe una ráfaga este se regresa hacia la estación base.
17. El radio del canal de voz mide la señal para la relación señal a ruido o el BER (digital) e informa a la MSC de la calidad de la señal.



18. La MSC envía una orden de alerta a la Radio Base.
19. Una orden de alerta es una instrucción llamando a la MS para que genere un tono de ring. 17. La Radio Base envía la orden de alerta a la estación móvil.

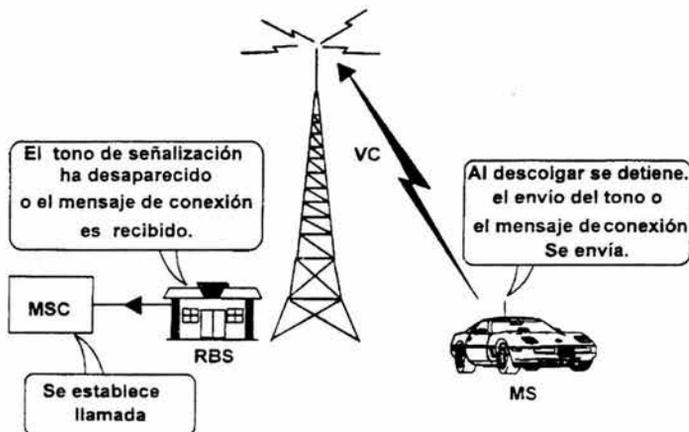


20. La estación móvil inicia el tono de ring. En analógico es enviado continuamente un tono de señalización de 10 KHz. hacia la Radio Base. En digital se envía un reconocimiento de mensaje.
21. El canal de voz detecta el tono de señalización continua de 10 KHz. (analógico) o un reconocimiento de mensaje (digital) y espera la respuesta de la estación móvil.

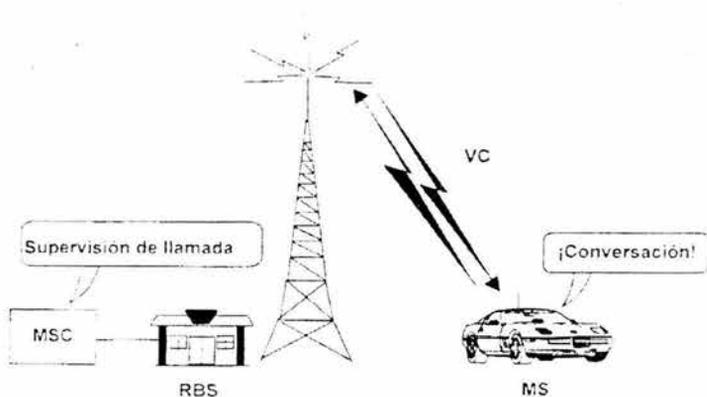


22. En analógico, la estación móvil detiene el envío del tono de señalización cuando el abonado móvil responde.

23. El canal de voz detecta la ausencia del tono de señalización (análogo) o la conexión del mensaje (digital) e informa al MSC establecer la conexión para llamada.

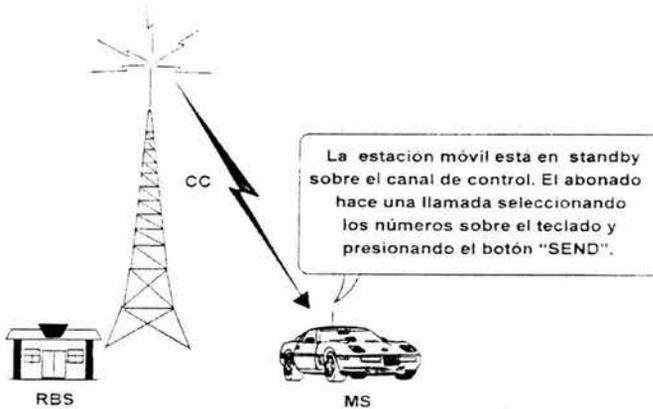


24. La conversación se establece entre el abonado móvil y el abonado que llamo.
25. El SAT o BER supervisan continuamente la calidad de la transmisión durante la conversación para detectar una condición para hacer Handoff o una liberación de llamada.

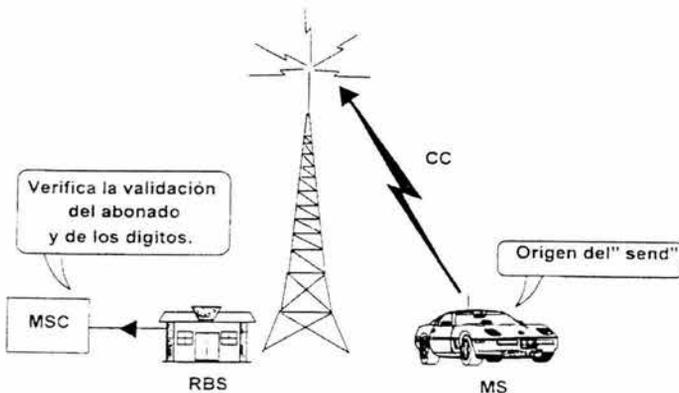


### 1.2.2 LLAMADA DESDE UNA ESTACION MÓVIL.

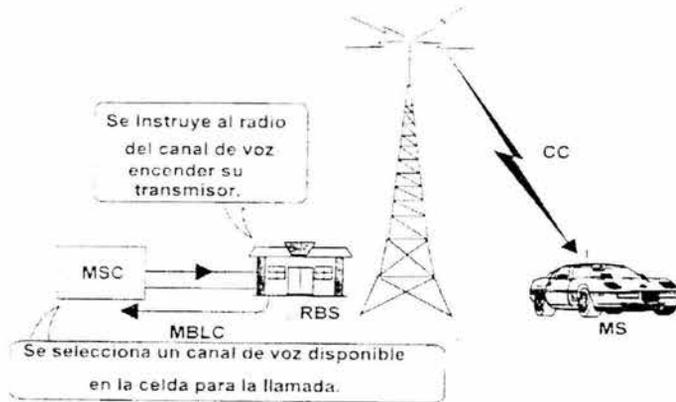
1. La estación móvil se encuentra en un estado libre examinando la potencia del canal de control.
2. Para establecer una llamada, el abonado móvil digital el numero y presiona "SEND".



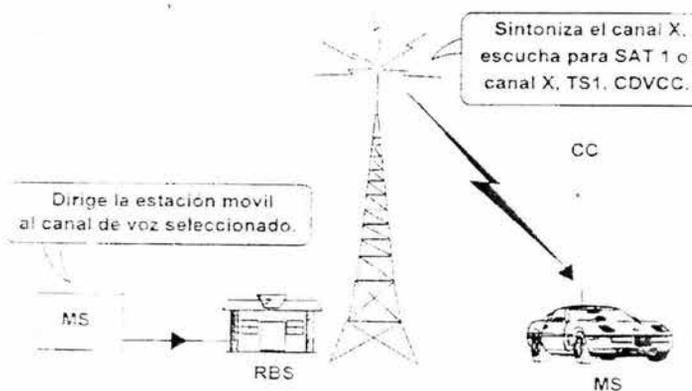
3. El móvil transmite un mensaje, este mensaje es un muestreo de datos de 10 Kbps el cual incluye el número llamado, el MIN y el ESN. Este es enviado en el canal de control hacia atrás (acceso) junto con el número de B = numero llamado.
4. La Radio Base envía la información de acceso hacia la central.
5. La MSC checa la validez del abonado y los dígitos de entrada.
6. La MSC selecciona otro canal de voz digital o analógico libre en la célula después la validación del abonado.



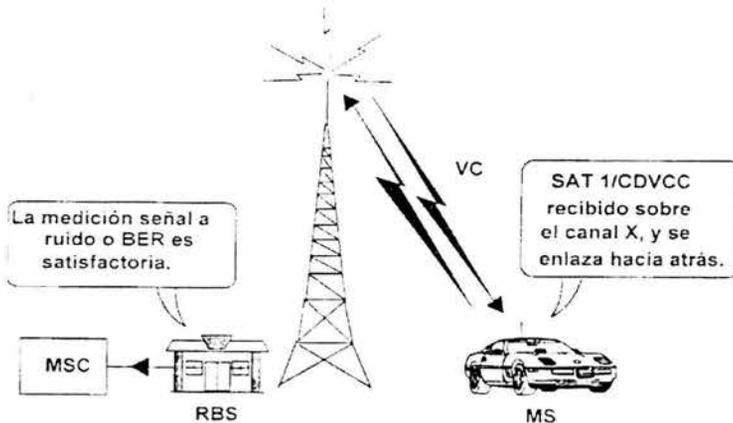
7. La MSC ejecuta un chequeo de línea de trayectoria en ambos sentidos para asegurar la continuidad de la trayectoria hacia y desde el radio de canal de voz.
8. La MSC envía un tono de 2Khz hacia el radio del canal de voz.
9. El canal de voz regresa el tono hacia la MSC.
10. La MSC ordena al radio del canal de voz sintonizarse con el transmisor.



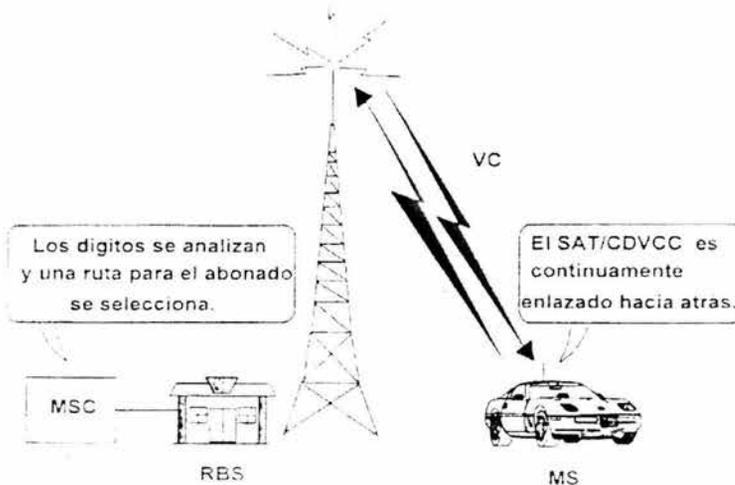
11. La MSC ordena a la Radio Base direccionar a la estación móvil hacia el canal de voz seleccionado ó al timeslot.
12. La Radio Base informa a la estación móvil del canal de voz seleccionado ó timeslot.
13. Este mensaje se transmite en el canal de control hacia adelante hacia la estación móvil.



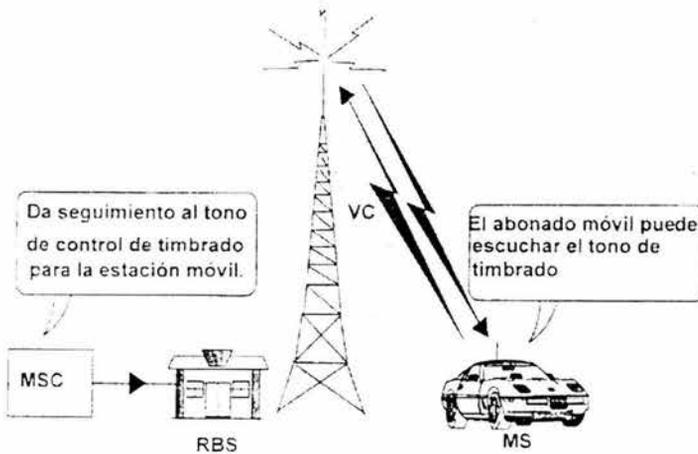
14. La estación móvil sintoniza el canal de voz.
15. Cuando la estación móvil recibe sintonización, este regresa en el canal de voz.
16. El radio del canal de voz mide el cociente de la relación de señal a ruido (análogo) o la tasa de bit de errores (digital) e informa a la MSC si la recepción es satisfactoria.



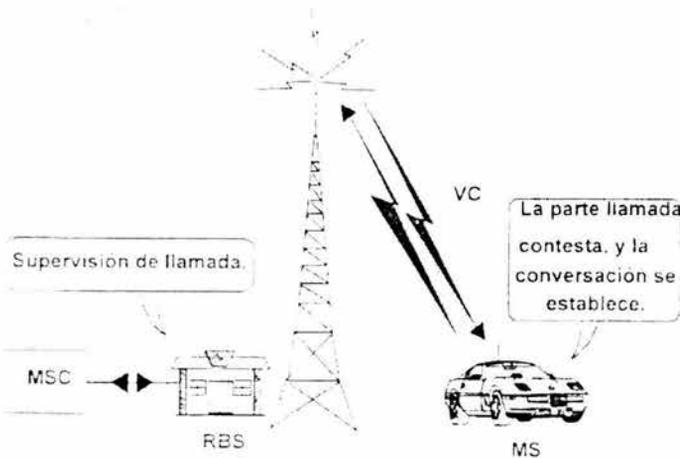
17. La MSC selecciona una ruta basada en un análisis digital.
18. La MSC inicializa la conexión de la llamada.



19. Un tono de ring indica a la estación móvil que un abonado esta llamando.
20. En una llamada hacia la PSTN, el tono se genera en la central.
21. En una llamada hacia otra estación móvil, el tono se genera desde la MSC.



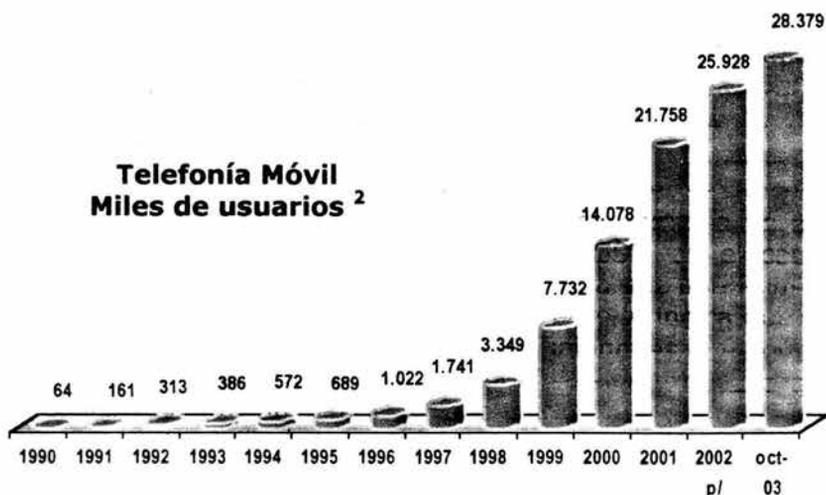
22. La petición y contestación de llamada establece la conversación.
23. La calidad de la transmisión se supervisa continuamente por el BER.



### 1.3 ¿Por que una nueva Generación de Comunicaciones Móviles?

Hay varios elementos que han suscitado la necesidad de plantear la creación de una nueva generación de sistemas de comunicaciones móviles. De entre ellos cabe destacar:

- El intenso crecimiento de la penetración en el mercado de los sistemas existentes. En muy pocos años, el teléfono móvil ha pasado a ser una parte sustancial de la dinámica social en la mayoría de los países. En algunos de ellos, el número de líneas activas ha llegado incluso a superar el número de líneas de telefonía fija. En México el proceso de apertura ha sido exitoso en atraer participantes e inversiones, las que han pasado de poco más de US\$1,000 millones a US\$5,000 millones anuales. El nivel de expansión ha traído presiones muy fuertes sobre los gastos de capital de las empresas, aunque pareciera que en México el efecto de la desaceleración económica todavía no llega a niveles que pueda afectar las expectativas de los operadores de manera significativa.



- El intenso crecimiento del Internet. El acceso a la red se ha vuelto también en los últimos años uno de los sectores de las telecomunicaciones donde el aumento de la demanda ha sido más acusado. La necesidad de combinar los beneficios de las

comunicaciones móviles universales y el acceso a Internet ha surgido de forma natural por los nuevos negocios emergentes.

- El aumento de la capacidad multimedia de los equipos informáticos. Este hecho ha supuesto un fuerte incremento del uso de aplicaciones donde la cantidad de información que debe transmitirse por la red es de volumen elevado. La posibilidad de tener acceso de banda ancha desde una terminal móvil abre un universo de posibilidades enorme para desarrollar aplicaciones multimedia de todo tipo.
- El aumento de la movilidad de las personas y los negocios. El hecho de que la evolución de la economía haya permitido que cada vez más usuarios tengan más posibilidades de viajar y realizar negocios en cualquier parte del planeta, hace que se plantee como un elemento de gran utilidad el disponer de una herramienta de uso global, que sea capaz de comunicarse con la red de datos en cualquier punto, independientemente del país, sistema informático o entorno en el que se encuentre el usuario.

Estos son algunos de los factores que han conducido a la necesidad de plantear un nuevo marco global para las comunicaciones móviles que cumpla los requisitos de la nueva sociedad.

## **1.4 Evolución de la Interface aire. Nuevos Requisitos para la 3G**

Las comunicaciones móviles actuales se han diseñado básicamente para dar servicios de transmisión de voz en sistemas macro-celulares. Para entender las diferencias con los sistemas de tercera generación, debemos describir en primer lugar los requerimientos que se le exigen a estas nuevas comunicaciones:

- Velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps.
- Velocidades de transmisión variables en función de las necesidades de las aplicaciones y los usuarios.
- Multiplexación de diferentes servicios con tasas y calidades diferentes en una misma conexión.

- Capacidad de definición de restricciones de retardo máximo en la transmisión de la información en función de las necesidades de cada aplicación.
- Tasas de error en la transmisión digital variables según las necesidades de cada aplicación.
- Compatibilidad con los sistemas de segunda generación para poder coexistir con ellos.
- Capacidad de gestión eficiente de tráfico asimétrico entre los enlaces ascendente y descendente.
- Alta eficiencia espectral.

En la siguiente tabla se listan las principales diferencias entre el sistema UMTS y GSM.

|                                      | <b>UMTS</b>  | <b>GSM</b>                            |
|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Espaciado entre portadoras           | 5 MHz  | 200 Khz.                              |
| Factor de re uso de frecuencias      | 1  | 1 – 18                                |
| Frecuencia de control de potencia    | 1500 MHz   | 2 Hz                                  |
| Control de calidad                   | Algoritmo RRM  | Planificación de frecuencias          |
| Diversidad en frecuencia             | El sistema de banda ancha permite tener diversidad multicamino y usar un solo receptor | Salto de Frecuencia Frequency Hopping |
| Transmisión de datos en modo paquete | Gestión basada en la carga   | GPRS                                  |

En esta comparación se consideran únicamente los parámetros relacionados con el interfaz aire. El estándar GSM también define algunos aspectos sobre los servicios y la red de transporte que serán utilizados también por los sistemas de tercera generación. Es decir, se pretende que al menos inicialmente el interfaz aire utilice la plataforma GSM en el nivel de transporte y de red.

Observando las diferencias del interfaz aire, se comprueba que el ancho de banda utilizado es mucho mayor en UMTS. Los 5 MHz utilizados son necesarios para poder dar soporte a las altas tasas de transmisión requeridas. En UMTS se incluyen técnicas de diversidad en transmisión para mejorar la capacidad del enlace descendente y poder incluir asimetrías entre los enlaces ascendente y descendente. Por el contrario, los sistemas móviles actuales no incluyen estas técnicas de diversidad en transmisión.

Por otro lado, la mezcla de diferentes tasas, servicios y calidades de transmisión, hace que los sistemas de tercera generación deban incorporar algoritmos de gestión de los recursos radio (*Radio Resource Management*) avanzados. Estos algoritmos deben ser capaces de garantizar las calidades requeridas al mismo tiempo que maximizan la eficiencia global del sistema.

## 1.5 Evolución de GSM a UMTS

GSM continuara evolucionando hasta encontrar la demanda de transferencias de datos muy altas a través de dos complementarios desarrollos.

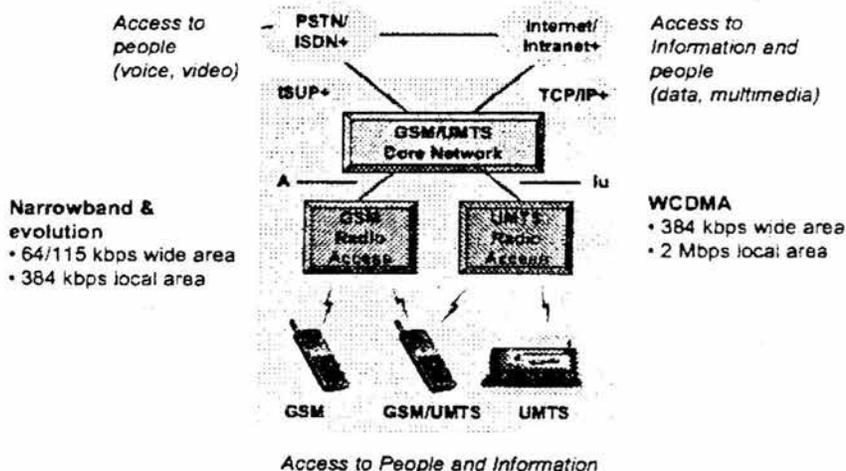
Primero, la existencia de una Red celular que evolucione para incluir un transferencias de bits muy altas en un área de cobertura mas grande, a través de HSCSD y GPRS, que proveen teóricamente transferencias de datos mayores a 160 kbits/s.

Segundo, GSM puede evolucionar hacia los requerimientos de una tercera generación para ofrecer transferencias de datos mayores a 384 kbits/s en todas las frecuencias existentes de GSM.

Usando GSM y UMTS ínter operando en una sola red se puede tener cobertura con GSM y funcionalidad con UMTS. La red de acceso puede ser claramente distinguida por dos tipos de interfaces, para que la red de acceso de UMTS opere se puede tomar algunos de los conceptos

existentes de GSM, principios y estructuras. El corazón de la red GSM puede ser la evolución hacia UMTS.

### Evolution to UMTS/IMT-2000 in GSM Environment



## 1.6 HSCSD y GPRS

Dentro del plan de evolución para GSM, se están desarrollando nuevas funcionalidades multimedia que amplía las aplicaciones actuales de transmisión de voz y de datos a 9.6 kbps hasta los 384 kbps con movilidad restringida y hasta 115 kbps con movilidad total. Cabe destacar HSCSD y GPRS como las dos más significativas.

HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data) proporciona un flujo de datos cercano a los 100 kbps e integra múltiples canales independientes en uno sólo, de tal manera que se aumenta la capacidad del terminal móvil para acceder simultáneamente a varios servicios, de modo similar a como sucede con la RDSI. Por ejemplo, utilizando GSM para la interfaz aire cada terminal de usuario puede tener conexión a 6 servicios independientes, desde los de voz hasta una combinación de servicios de datos como fax, correo electrónico, Internet / intranet, videoconferencia... Otro desarrollo es el servicio general de paquetes por radio GPRS (General Packet Radio Service) para soportar accesos vía radio a Internet, a redes locales y a redes de conmutación de paquetes, con velocidades de hasta 115 kbps. GPRS utiliza el protocolo

IP y el mismo subsistema de estaciones base que para los servicios de voz, pero con pasarelas específicas - extensiones de la red para el encaminamiento de la información a través de una red de datos.



Este nuevo servicio se basa en una técnica de conmutación de paquetes que emplea una codificación reducida del canal para alcanzar una velocidad neta de 14.4 Kbps por ranura de tiempo (timeslot), consiguiendo un caudal máximo de 115 Kbps. Estas tasas resultan adecuadas para manejar tráfico en ráfagas, como el que se da en Internet o en redes de área local. Y, como puede suministrar datos directamente al terminal de usuario, incluso si éste se encuentra apagado o fuera de cobertura, no hay necesidad de llamar a un buzón para recuperar los mensajes, como sucede con GSM en el caso de recibir un mensaje corto o de voz; en su lugar, cada vez que el usuario se presenta ante la red, el sistema automáticamente le indica que tiene un mensaje en espera y le remite el texto y las imágenes que contiene. Al ser una técnica de conmutación de paquetes solamente ocupa ancho de banda cuando se envían datos, lo que optimiza la utilización del espectro al permitir compartir un canal entre distintos usuarios.

## 1.7 SIM Modulo de Identificación del Subscriptor

En el sistema GSM, la estación móvil se compone de dos partes: el hardware y software específicos del interfaz de radio (el teléfono) y un soporte de datos específico del usuario, el SIM (Modulo de Identificación

del Subscritor), que participa activamente en la seguridad de la red y la autenticación del usuario.

Para que una estación móvil GSM pueda funcionar necesita tener introducido el modulo de identificación del usuario.

Existen dos tipos distintos de modulo de identificación del usuario:

- ◆ Una tarjeta inteligente que puede ser retirada de la estación móvil cuando el usuario termina de utilizarla.
- ◆ Un modulo que es incorporado dentro de la estación móvil, con el fin de estar instalado permanentemente, aunque siempre sería posible retirarlo abriendo la tapa de la estación móvil.

Este modulo es el que contiene toda la información necesaria para realizar la función de autenticación del usuario, además de otras informaciones necesarias para el sistema.



Descripción: las estaciones móviles pueden ser operadas si es valida la SIM (excepto para llamadas de emergencias, cuando sean permitidas

por el operador) el sistema móvil tiene que contener una función de seguridad para la autenticación del suscriptor esta será un código de autenticación y será encriptado con algoritmos.

**Sim Clásica****Mini Sim****El plástico sobrante**

El SIM debe contener la siguiente información:

- ◆ Numero de serie
- ◆ Estado del SIM (bloqueado o desbloqueado)
- ◆ Clave del algoritmo de autenticación
- ◆ Algoritmo de Autenticación (A3)
- ◆ Identificación internacional del usuario móvil (MSI)
- ◆ Identificación temporal del usuario móvil (TMSI)
- ◆ Algoritmo de generación de claves de cifrado (A8)
- ◆ Clave del algoritmo de cifrado de señalización y datos (A5)
- ◆ Numero de secuencia de la clave del algoritmo de cifrado
- ◆ Clase de control de acceso del usuario

## Capítulo 2

### Aspectos para el Desarrollo de Sistemas de Tercera Generación

#### 2.1 Introducción

El éxito de las comunicaciones inalámbricas en la mayoría de países, conjuntamente con el crecimiento exponencial que han experimentado las redes de datos en demanda de nuevos servicios, hace que las redes actualmente implementadas sean insuficientes para mantener y dar solución a la creciente demanda de nuevos servicios. Por ello, se ha generado la necesidad inminente a ser desarrollada con el fin de lograr dar solución a dicha problemática.

A finales de los años ochenta, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) formó un grupo de estudio con el propósito de valorar y especificar los requisitos de las normas celulares del futuro para el suministro de servicios de datos y multimedia de alta velocidad. La norma o estándar de la tercera generación se denomina ahora IMT-2000, significando las siglas *IMT International Mobile Telecommunication*

En Europa, el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) estableció la norma de un sistema de la tercera generación, denominado Universal Mobile Telecommunications Systems con sus siglas UMTS.

UMTS/IMT-2000 será la encargada de proponer solución a dicha problemática. Por ello, será uno de los posibles caminos a seguir para la implementación de una red de tercera generación, así como mostrar algunos aspectos de interés en el proceso la cual influirán notablemente en la introducción de una nueva Tecnología.

UMTS además de ofrecer características únicas en el mercado de las comunicaciones móviles requerirá afrontar un proceso evolutivo lleno de inconvenientes. Por ello, mostrar aspectos que influirán notablemente en el desarrollo de UMTS a nivel mundial, contribuirá a determinar futuros procesos y desarrollos tecnológicos que ayudaran a mantener un desarrollo mas consistente de esta nueva tecnología.

Por otra parte, el desarrollo de este nuevo sistema va a ser evolutivo. Los cambios más importantes se producirán mediante el desarrollo de

una interfaz radioeléctrica más flexible que la del GSM. Por contra, la estructura de señalización seguirá un camino más lento, con la incorporación paulatina de las soluciones de red inteligente.

A medio y largo plazo, el UMTS substituirá progresivamente a las soluciones actuales. La substitución se realizará de acuerdo con las necesidades de los mercados y la presencia de nuevas aplicaciones que lo justifiquen.

## **2.2 UMTS / IMT2000**

Hay dos organismos que están trabajando en la estandarización del nuevo sistema de comunicaciones personales: La UIT y el ETSI. Los dos tienen concepciones similares, pero objetivos diferentes:

### **El UMTS. Estandarización en Europa.**

El ETSI, como organismos encargado de la normalización de los aspectos relacionados con las telecomunicaciones en Europa, ha establecido numerosos grupos que trabajan en los aspectos de comunicaciones móviles.

Asimismo, y a instancias de la CE, se ha establecido un Foro de debate, el UMTS Forum, encargado de canalizar y dirigir las actividades, tanto de normalización como, en cierto modo, de investigación para el desarrollo del UMTS.

UMTS Sigla de "*Universal Mobile Telecommunications System*", la cual es considerada como la tercera generación de comunicaciones móviles. UMTS se caracteriza básicamente por la alta capacidad de transmisión de datos ofreciendo hasta 2Mbps. Simultáneamente ofrece solución de telefonía inalámbrica.

Aspectos como el anterior impulsara de manera notable la introducción de los Sistemas de Tercera Generación dado que a su vez generara solución a la problemática de cubrimiento en zonas en la cual la telefonía tradicional difícilmente tendrá acceso por factores netamente económicos.

Apropiado para una variedad de usuarios y tipos de servicios, y no solamente para usuarios muy avanzados en aglomeraciones urbanas, UMTS ofrece:

- Facilidad de uso y costes bajos.
- Los clientes quieren ante todo servicios útiles, terminales simples y una buena relación calidad-precio. UMTS proporcionará.
- Servicios de usos fáciles y adaptables para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios.
- Terminales y otros equipos de "interacción con el cliente" para un fácil acceso a los servicios.
- Bajos costos de los servicios para asegurar un mercado masivo.
- Tarifas competitivas.
- Una amplia gama de terminales con precios accesibles para el mercado masivo, soportando simultáneamente las avanzadas capacidades de UMTS.
- Nuevos y mejores servicios.

El despliegue comercial total se alcanzará a través de los siguientes pasos fundamentales:

- Extensión de la capacidad GSM mediante operaciones de transmisión de datos de alta velocidad y en paquetes.

Fase de Prueba Preliminar de UMTS ya sea en subconjuntos de redes GSM reales o en redes basadas en paquetes de datos aislados.

- Fase comercial completa, con mejoras en cuanto a desempeño y capacidad, y la introducción de servicios UMTS nuevos y sofisticados.

## El IMT-2000

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha establecido un grupo para definir, en cierto modo, un estándar mundial. El sistema a estandarizar se denominó Future Public Land Mobile Telecommunication System (FPLMTS). Recientemente se ha cambiado a International Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000).

El sistema IMT-2000 debe dar servicio de voz, vídeo y datos en cualquier lugar y en cualquier momento. El concepto va bastante más allá de un simple acceso sin hilos o comunicaciones móviles, ya que incluye aspectos como localización o de seguridad de tráfico rodado.

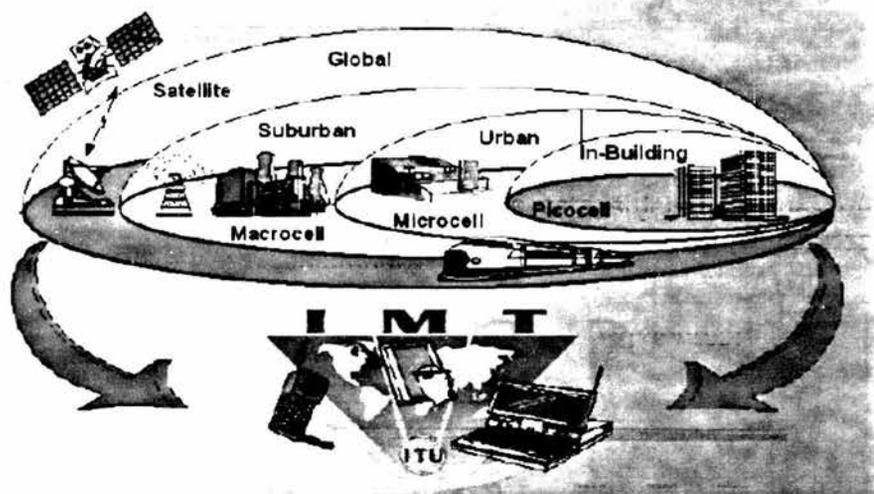
Otro aspecto importante es la utilización del bucle radioeléctrico para dar servicio a áreas en desarrollo.

Los Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres, actualmente conocidos como Telecomunicaciones Móviles Internacionales - 2000 (IMT-2000), son sistemas móviles de la tercera generación.

IMT-2000 es una iniciativa de la UIT para proporcionar acceso a una variedad de servicios de telecomunicaciones de las redes fijas y a otros servicios que son específicos de los usuarios móviles, por lo que las terminales pueden diseñarse para uso móvil o fijo.

## IMT-2000

### THE emerging network of the 21<sup>st</sup> century



Las características fundamentales de IMT-2000 son:

- gran uniformidad de diseño en todo el mundo.
- compatibilidad de servicios dentro de IMT-2000 y con las redes fijas.
- gran calidad de servicio.
- utilización de un sistema móvil en todo lugar y en todo momento.

Para rentabilizar al máximo las inversiones en los sistemas móviles actualmente en servicio o que se introducirán antes que IMT-2000 (sistemas pre-IMT - 2000), por ejemplo, PCS, es conveniente determinar cómo pueden evolucionar hacia IMT-2000. Esto facilitaría también la introducción del propio IMT-2000 y permitiría reutilizar en mayor medida la infraestructura de la red, los conceptos de sistema y/o las tecnologías.

Si bien es conveniente que los sistemas pre-IMT - 2000 puedan evolucionar hacia IMT-2000, la decisión de promover esta evolución, que tiene carácter político, deberá ser tomada en caso concreto por las Administraciones y los responsables de cada sistema o servicio particular. Para ayudar en la toma de decisiones, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), mediante el Grupo de Tareas Especiales 8/1 del Sector de Radiocomunicaciones, realiza estudios y elabora recomendaciones considerando la posibilidad de dar pasos que faciliten la evolución de los sistemas pre-IMT-2000 hacia IMT-2000 sin comprometer las capacidades, los objetivos y la calidad de éstos.

### **2.2.1 Definición de aspectos influyentes y requisitos para una tercera generación**

Al planificar la comunicación móvil, predecir el futuro no resulta más fácil que hacerlo en cualquier otro campo de la tecnología de las telecomunicaciones. Hace cinco años, ¿quien hubiera pronosticado la incidencia que tendría Internet? Lo mejor que podemos hacer es planificar una estructura celular flexible, sólida y lo suficientemente poderosa como para asumir el cambio.

Teniendo esto en cuenta, los siguientes servicios y aplicaciones expresan las posibilidades que se consideran deseables en un sistema móvil de la tercera generación:

- Una gama de servicios completa; desde servicios de voz por banda estrecha a multimedia en tiempo real por banda ancha. Se prevé que el tráfico de voz seguirá siendo una aplicación y fuente de ingresos importante.
- Soportar la transmisión de datos a alta velocidad en paquetes, incluyendo las siguientes aplicaciones de Internet:
  - Búsqueda de información.
  - Suscripción a información (noticias, pronósticos meteorológicos, tráfico) a través de técnicas "push"; La información incluso puede depender de la ubicación.

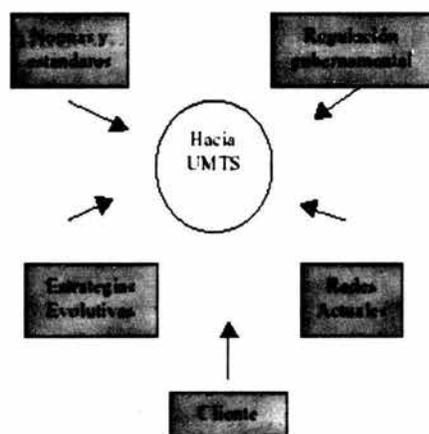
- acceso remoto y móvil a Internet / intranets.
- aplicaciones de comercio electrónico.
- Servicios de mensajes, tal como correo electrónico multimedia (tarjetas fotográficas y de vídeo).
- Aplicaciones de audio / vídeo en tiempo real, tales como videoteléfono, videoconferencias interactivas; audio / música; y aplicaciones empresariales multimedia especializadas, por ejemplo telemedicina y supervisión remota de seguridad.

Para respaldar estas nuevas aplicaciones de multimedia se usarán nuevos terminales portátiles de bolsillo.

Los principales requisitos que se deben tomar en cuenta para un sistema de la tercera generación son:

- Soporte de velocidades altas de transmisión de datos; hasta 144 kbit/s (384 kbit/s) como mínimo en todos los entornos de radio y hasta 2 Mbit/s en entornos de baja movilidad y dentro de locales.
- Soporte a la transmisión de datos simétrica y asimétrica.
- Soporte de servicios conmutados en modo paquete y conmutados en modo circuito tales como tráfico de Internet (IP) y vídeo en tiempo real.
- Soporte de una buena calidad de voz (comparable con la de la telefonía por cable).
- Soporte de una mayor capacidad y mejor eficiencia del espectro en comparación con los sistemas existentes de la segunda generación.
- Soporte de varios servicios simultáneos a usuarios finales y terminales; es decir, para posibilidades de servicios multimedia.
- Soporte para la incorporación sin fisuras de sistemas celulares actuales y soporte a la coexistencia e interconexión con servicios móviles a través de satélite.
- Soporte de itinerancia, incluyendo itinerancia internacional entre distintos operadores de IMT-2000.
- Soporte de ahorros de escala y un estándar global abierto para satisfacer las necesidades de un mercado de masas.

Además de las condiciones definidas como norma general de los Sistemas de Tercera Generación, otros aspectos contribuirán en el proceso de implementación de UMTS en el ámbito mundial. En la gráfica siguiente encontramos los aspectos iniciales que se consideran serán influyentes en el proceso de implementación de UMTS a escala mundial.



Aspectos Influyentes en la Introducción de UMTS.

### 2.2.2 Aspectos para el desarrollo de sistemas de tercera generación.

Quizá uno de los aspectos que contribuyó notoriamente a la óptima evolución de los sistemas celulares actuales, fue el proceso normativo y de estandarización. Este proceso además de definir de manera adecuada las características de los sistemas permitió una implementación homogénea a nivel mundial, haciendo menos distante las características ofrecidas al cliente por los diversos operadores. A su vez, simultáneamente permitió que los fabricantes tuviesen una normatividad a seguir, la cual trae como consecuencia la opción de poder fabricar en cantidad, trayendo beneficios adicionales como disminución de costos al usuario por economía de escala. Dentro de los aspectos normativos más importantes se encuentran los aspectos de Interfaz aérea utilizada y la parte de bandas de frecuencia a utilizar.

En definitiva, está claro que va a existir una evolución hacia un sistema que:

- Tenga más eficiencia espectral.
- Esté mejor integrado con la red fija.
- Integre los sistemas terrenales con los sistemas basados en satélites.

- Puedan prestar servicios multimedia.
- El terminal y la suscripción deben ser económicos y fáciles de utilizar, de forma que el sistema sea un objeto cotidiano.

Los organismos de estandarización están trabajando no solo en tecnologías de radio, sino también en infraestructura de redes. Uno de los objetivos es permitir a los usuarios migrar de redes privadas a públicas. Tal migración va a requerir la implementación de estándares tales como IP Móvil. Otra meta es simplificar la conexión entre computadoras portátiles y dispositivos wireless a través de una red de área personal.

Otra tendencia es aun Voz sobre IP. Ya que las redes terrestres comienzan a usar IP para voz y multimedia, será importante para esas comunicaciones IP extenderse hacia a los dispositivos wireless. Quizás la tendencia más importante de todas es hacia la cobertura universal. Esto no se logrará solo por el hecho de que los estándares wireless converjan entre sí, sino también desarrollando nuevos dispositivos que operen en múltiples modos y en múltiples frecuencias.

### **2.2.3 Interfaz aérea**

La interfaz aérea seleccionada después de un proceso de evaluación realizado por la UMTS y la IMT-2000, conjuntamente con proyectos como STORM, ASPECT y otros, fue GSM.

La selección va de la mano de un aspecto actual existente con el medio electromagnético y es la saturación de frecuencias. GSM proporciona aspectos de inmunidad y de seguridad intrínsecamente relacionados con su concepción, adicionalmente a que en la evaluación inicial GSM reduce el patrón de re-uso de forma dramática en comparación con otras interfaces en la etapa final de implementación de UMTS, Contribuyendo así a disminuir la posibilidad de saturación de las bandas de frecuencias utilizadas.

Este aspecto en adición con inmunidad al ruido, capacidad para discriminar multitrayectorias y manejo de los espectros en cuanto a su optimización, hace de GSM el ideal para soportar un crecimiento y demanda de servicios elevados.

## 2.3 Bandas de Frecuencia.

La selección de las bandas de frecuencia va estrechamente relacionada con la disposición en cada país. Sin embargo, uno de los objetivos de UMTS/IMT-2000 es lograr una armonización mundial en este aspecto, minimizando las diferencias de uno a otro país.

Por esta razón, los organismos encargados del proceso definieron como bandas UMTS terrestres y satelitales las siguientes:

**Bandas Terrestres:** 1900 – 1980 Mhz  
2010 – 2025 Mhz  
2110 – 2170 Mhz

**Bandas Satelitales:** 1980 – 2010 Mhz  
2170 – 2200 Mhz

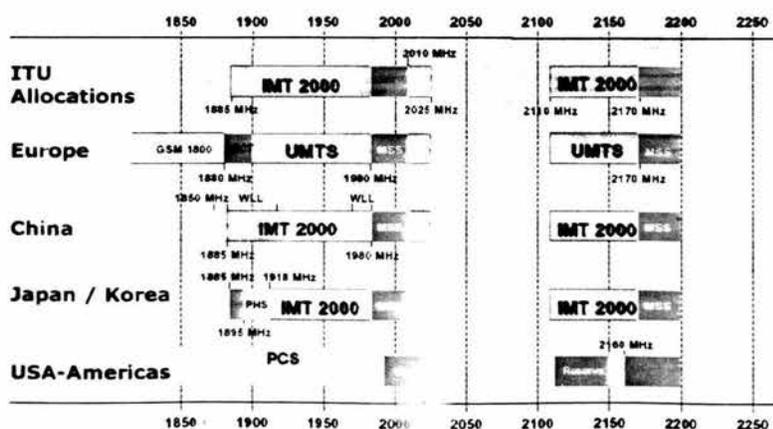


### Asignación de Frecuencias

Sin embargo, esta disposición de frecuencias esta sujeta a planes de extensión con el fin de soportar adecuadamente las necesidades futuras de transmisión de datos principalmente.

Las frecuencias diseñadas para IMT-2000 fueron las siguientes:

### Frecuencias para IMT-2000

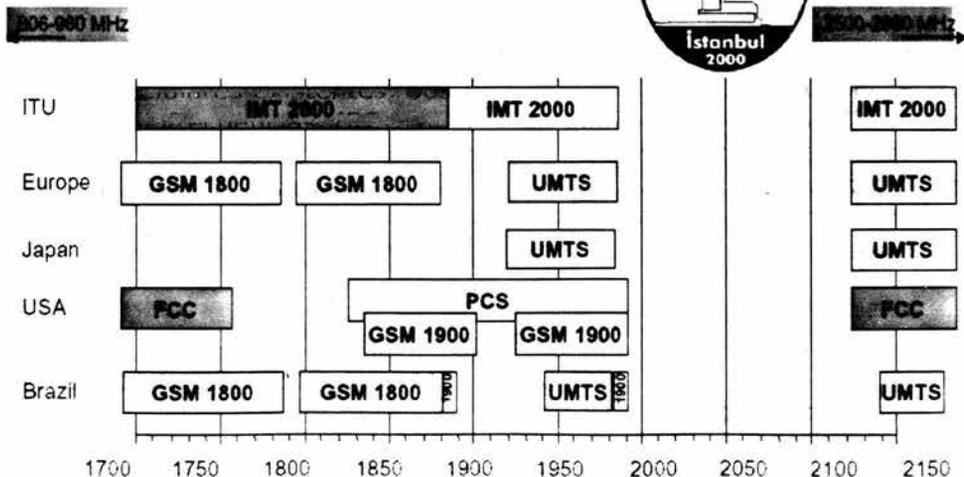


La asignación del espectro adicional debe tener en cuenta el acuerdo universal sobre las bandas de frecuencia múltiple identificadas para los servicios IMT-2000 realizado en la Conferencia Mundial de Radio 2000 en Estambul, Turquía, en mayo de 2000. Este acuerdo identificó tres bandas adicionales para el uso en igualdad con las bandas previamente identificadas por la familia de tecnologías IMT-2000. Las bandas se especificaron en el comunicado de prensa de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) del 30 de mayo de 2000, citado parcialmente aquí:

*"Las bandas adicionales identificadas para el componente terrestre de IMT-2000 son: 806-960 MHz, 1710-1885 MHz y 2500-2690 MHz. Las bandas que se habían identificado inicialmente en 1992 y en las que se han basado para otorgar licencias ya se han hecho o está en camino en muchas partes del mundo, permanecieron iguales. Se espera que se concedan alrededor de 100 permisos por todo el mundo para el año 2002. Estas bandas son 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz. Todas las bandas identificadas universalmente para IMT-2000 tienen la misma posición."*

## Bandas Adicionales 3G/UMTS

GSM 1800/1900 and PCS



## 2.4 Aspectos gubernamentales.

En las condiciones actuales, UMTS será necesario reglamentarlo de tal forma que se garantice desde todos los puntos de vista aspectos de competitividad entre operadores, máximo aprovechamiento del espectro electromagnético y a su vez condiciones optimas para la evolución de las telecomunicaciones a nivel nacional. Por esta razón, planes de desarrollo presentes que involucren acciones futuras que de una u otra forma se interpongan en la implementación de UMTS serán objeto de replanteo y conveniencia a escala nacional.

Es importante que tecnologías como PCS no sean objetos limitantes en la implementación de UMTS dado que algunas Bandas PCS afectan de manera directa es espectro asignado al proyecto UMTS <sup>3</sup>. Aunque UMTS es un proyecto a corto – mediano plazo (5 Años) es necesario que los entes gubernamentales tengan una perspectiva clara de que servicio podría dar una mejor solución al problema de cubrimiento a nivel nacional en todos los aspectos.

Por ello garantizar el desarrollo de las comunicaciones ofreciendo licencias de uso del espectro electromagnético será una tarea delicada con el fin de ofrecer las mejores condiciones futuras al cliente potencial. Como guías iniciales en el aspecto gubernamental se debe hacer énfasis en los siguientes puntos:

- Garantizar competencia evitando monopolización de las comunicaciones; los operadores pueden ser nuevos o operadores de Segunda Generación y/o otras ramas de telefonía y transmisión de datos principalmente.
- Intentar que el proceso y la licencia de uso del espectro no suba sustancialmente los costos de funcionamiento al usuario final.
- Tiempo de licencia mínima: 10 años para hacer económicamente viable el proyecto a los operadores.
- Espectro mínimo por operador fase inicial: 2 a 15Mhz (Basado en análisis de Tráfico estimado).
- Numero mínimo de Operadores.
- Proteger a la infraestructura de telecomunicaciones existente.

## 2.5 Aspectos de evolución.

La protección de la infraestructura de telecomunicaciones inalámbrica de los Sistemas actuales es un aspecto que en todo momento debe ser tenido en cuenta. El realizar este proceso generara inmediatamente reducción de costos y una adecuación del cliente potencial hacia los nuevos servicios. Por tal razón, sin desmeritar una aplicación inmediata de un sistema de tercera generación es necesario pensar en procesos evolutivos.

En cuanto a telefonía, los Sistemas de tercera generación ofrecerán condiciones idénticas a los Sistemas actuales en cuanto al servicio, con excepción del cubrimiento adicional que los Sistemas de tercera generación pueden ofrecer en zonas remotas por su capacidad de trabajo satelital. Sin embargo, la condición que comenzara a diferenciarlos notablemente será la capacidad para transmitir una mayor cantidad de datos. En la actualidad, la mayoría de Sistemas actuales ofrecen un radio de transmisión máxima de 9600 bps, velocidad que no permite un adecuado tratamiento de datos. Por ello, en busca de clarificar el proceso evolutivo a efectuarse.

Esta fase evolutiva se describe con el objetivo básico de mostrar problemáticas en el proceso de implementación de UMTS.

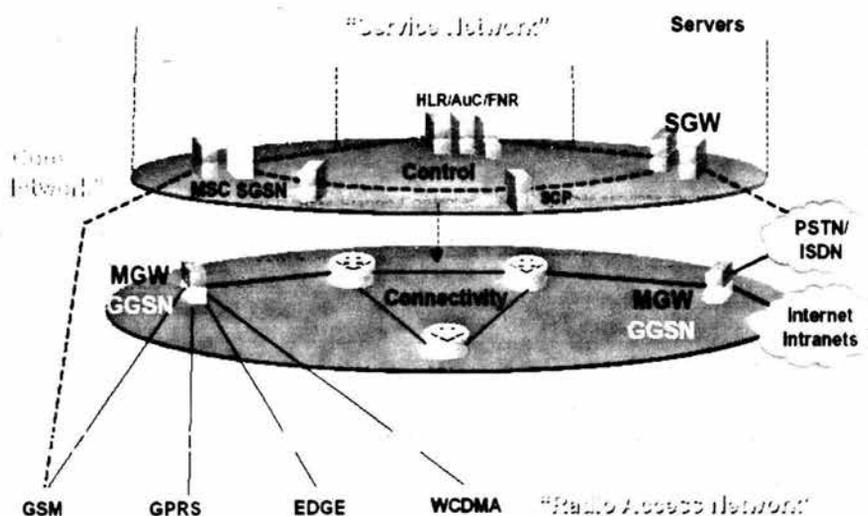
A partir de un análisis más profundo se tiene que con el fin de permitir la introducción de nuevos servicios, al nivel de red será necesaria la modificación del tratamiento de los canales de transmisión lógicos y físicos. En algunos casos será necesario modificar solo las condiciones de control de red, permitiendo un tratamiento de datos a mayor velocidad sin necesidad de hacer modificaciones físicas en la red o en la estructura de los canales electromagnéticos, contribuyendo con la introducción de nuevos servicios sin una inversión alta de capital. <sup>4</sup>

Sin embargo, etapas posteriores requerirán introducción de nuevos equipos o cambio de los actuales para soportar el tratamiento de datos a radios de transmisión más altas. Es claro que en las etapas evolutivas iniciales muchos de los procesos evolutivos son realizados a través de modificaciones en el tratamiento de los canales lógicos y posteriormente en las características de los canales físicos. Este proceso se traduce en que la eficiencia en la transmisión de datos y manejo de espectro vayan directamente relacionadas con la etapa evolutiva en que se encuentra la red. Así, las condiciones de tráfico no serán determinadas exclusivamente por tipo de servicio que el operador ofrezca, sino que

también por la etapa de desarrollo en que se encuentra la red la cual obliga a que el proceso de diseño en etapa evolutiva transitoria sea mas complicado que el que se efectúe en fase final.

La dificultad del proceso radica en la falta de modelos de tráfico que se adecuen a las condiciones reales que la red puede ofrecer, junto con el tipo de servicio ofrecido dado que las exigencias de red varían de acuerdo al servicio requerido en algún momento. Finalmente, después de esta introducción al mundo UMTS, será necesario realizar una serie de procesos técnicos que garanticen la introducción exitosa de esta nueva tecnología a nivel mundial.

## Arquitectura de una red 3G



## Capítulo 3

### Componentes GPRS sobre una Red GSM.

#### 3.1 Introducción.

En 1982, un gestor público de servicios de telefonía móvil de los países nórdicos (Nordic PTT) envió una propuesta al CEPT (Conférence Européenne de Postal et Télécommunications) para la implantación de un servicio común de telefonía móvil europeo en la frecuencia de los 900 MHz. El CEPT decidió entonces formar el Groupe Speciale Mobile (del que proviene el nombre GSM) con el fin de desarrollar un standard internacional para las comunicaciones celulares. Actualmente el acrónimo GSM significa Global System for Mobile Communication, donde se ha querido utilizar el término global a causa de la adopción de este standard en cada continente del planeta.

GSM es un estándar que se propone unificar las comunicaciones en Europa a 900 MHz., proporcionando una plataforma para dicho sistema global y con sus respectivas especificaciones y requerimientos. Con el tiempo las especificaciones se han ampliado para cubrir las bandas 1800 MHz (DCS, Digital Cellular System), y 1900 MHz (PCS, Personal Communication Services) esta última banda de frecuencia utilizada en México.

Paises que han adoptado GSM



## Las necesidades que busca satisfacer el sistema GSM son:

**Uso más eficiente de las bandas de frecuencias:** como respuesta se acuerda usar RF (radio frecuencia) digital en vez de analógica.

**Mayor calidad de voz:** usando en este caso digitalización de 13 bits muestreada a 8KHz y empleando complejos codificadores de voz (híbridos: codificador de forma de onda y vocoder a la vez)

**Más confiabilidad:** eficiente control de errores durante la transmisión por aire, usando codificación por bloque para el 20% más importante de bits, seguida de codificación convolucional al 70% (20% importante anterior y el 50% menos importante), dejando el restante 30% sin codificar.

**Seguridad:** Necesidad de obtener una comunicación móvil libre de interferencias, sin pérdidas en la cobertura minimizando posibles inconvenientes propios de un enlace en movimiento (desvanecimiento de la señal, dispersión del tiempo).

**Mejorar el proceso de traspaso de la transmisión de una celda a otra (Handoff):** Como respuesta, GSM incorpora el MAHO (Mobile Assisted Hand-Off) en que el teléfono envía constantemente datos acerca de la recepción de su celda y de las celdas vecinas proporcionando información para evaluar mejor el traspaso y hacerlo más confiable, independiente de la velocidad del móvil.

El standard GSM reúne una serie de mejoras e innovaciones respecto a las redes celulares existentes, destinadas a un uso eficiente del espectro de las radiofrecuencias (RF), a la seguridad de la transmisión, a la mejora de la calidad de conversación, a la reducción del coste de los terminales, de las infraestructuras y de la gestión, a la capacidad de soportar nuevos servicios y a la plena compatibilidad con la red **ISDN** (Integrated Services Digital Network) y con otras redes de transmisión de datos.

Además, la red radio móvil GSM constituye el primer sistema estandarizado para usar una técnica de transmisión numérica por el canal radio: este punto representa una característica peculiar de la red, en tanto a todos los sistemas radio celulares anteriores, utilizaban técnicas de transmisión analógicas. Otra característica de base del sistema es el *roaming* (movilidad), es decir la posibilidad ofrecida al usuario de móvil, de acceder a los servicios GSM también cuando se

encuentra físicamente fuera del área de cobertura de la propia red de suscripción, registrándose como usuario visitante.

El Roaming es completamente automático dentro de todas las naciones con cobertura del sistema GSM. Además de la posibilidad de efectuar Roaming, el GSM ofrece nuevos servicios para el usuario, como la transmisión de datos, el servicio fax y el servicio de transmisión breve de mensajes de texto.

Para aprovechar al máximo el ancho de banda disponible, con el fin de servir a más usuarios a la vez en un mismo sector, el sistema se estructura subdividiendo el área de servicio (Service Área) en zonas delimitadas llamadas **celdas**. Cada celda tiene una Estación Radio Base (**RBS**) que opera en un set de canales de radio, diferentes a los utilizados en las celdas adyacentes, para evitar interferencias.

Este tipo de subdivisión permite la reutilización de las mismas frecuencias en celdas no adyacentes. La unión de las celdas, que en su conjunto utilizan todo el espectro radio disponible, se llama **cluster**.

Generalmente se utilizan formas regulares de celdas y por tanto de clusters para cubrir un área de servicio. Teóricamente las celdas se pueden imaginar con forma hexagonal, aunque en realidad su forma es irregular a causa de la no homogénea propagación de la señal de radio, debido principalmente a la presencia de obstáculos.

Reduciendo el diámetro de las celdas la capacidad del sistema aumenta, aunque el uso de esta elección supone la disminución de la distancia de reutilización de las frecuencias, es decir de la distancia entre dos celdas co-canal, que conlleva el aumento de la interferencia co-canal. Parece evidente que la capacidad del sistema, amén del número de canales disponibles, está ligada a este tipo de interferencia.

La interferencia es el principal factor que limita el desarrollo de los sistemas celulares. Las fuentes de interferencias incluyen a otras estaciones móviles dentro de la misma celda, o cualquier sistema no celular que de forma inadvertida introduce energía dentro de la banda de frecuencia del sistema celular. Las interferencias en los canales de voz causan el "cross-talk", consistente en que el abonado escucha interferencias de fondo debidas a una transmisión no deseada. Sobre los canales de control, las interferencias conducen a llamadas perdidas o bloqueadas debido a errores en la señalización digital. Las interferencias son más fuertes en las áreas urbanas, debido al mayor ruido de radio frecuencia y al gran número de estaciones base y móviles. Las

interferencias son las responsables de formar un cuello de botella en la capacidad y de la mayoría de las llamadas entrecortadas. Los dos tipos principales de interferencias generadas por sistemas son las interferencias co-canal y las interferencias entre canales adyacentes. Aunque las señales de interferencia se generan frecuentemente dentro del sistema celular, son difíciles de controlar en la práctica (debido a los efectos de propagación aleatoria). Pero las interferencias más difíciles de controlar son las debidas a otros usuarios de fuera de la banda (de otros sistemas celulares, por ejemplo), que llegan sin avisar debido a los productos de intermodulación intermitente o a sobrecargas del terminal de otro abonado.

En la práctica, los transmisores de portadoras de sistemas celulares de otra red celular, son frecuentemente una fuente significativa de interferencias de fuera de banda, dado que las compañías operadoras frecuentemente colocan sus estaciones base cerca, para proporcionar una cobertura comparable a sus abonados.

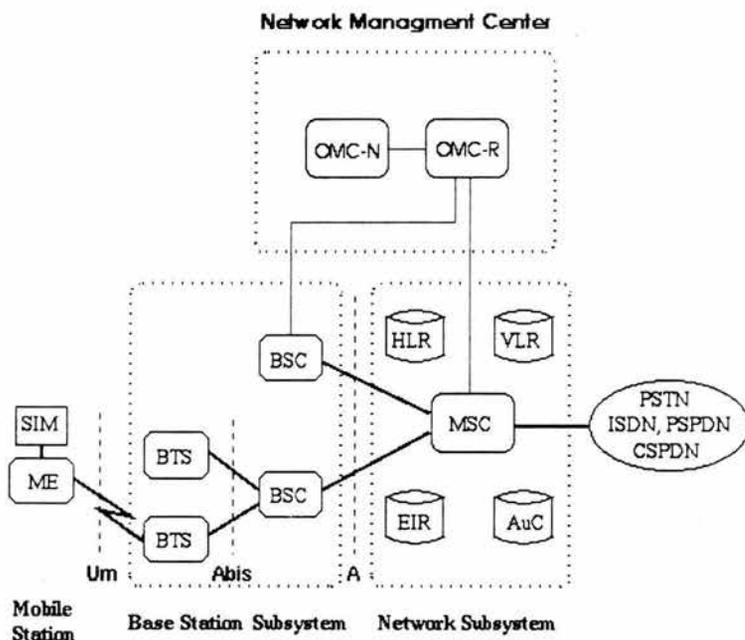
El standard GSM utiliza la tecnología de acceso a división de frecuencia (**FDMA**) combinada con la de acceso a división de tiempo (**TDMA**): 8 canales vocales (*Half rate*) o bien 16 (*Full rate*) "multiplexadas" en un único canal radio, junto a las informaciones de control de error, necesarias para disminuir la interferencia debida al ruido, y a las informaciones de sincronización y señalización

### 3.2 Arquitectura de la Red

El sistema de telefonía celular es el responsable de proporcionar cobertura a través de un territorio particular, llamado región de cobertura o mercado. La interconexión de muchos de estos sistemas define una red inalámbrica capaz de proporcionar servicios a los usuarios móviles a través de un país o continente.

Para conectar a los abonados con las estaciones base, se establecen enlaces de radio usando un protocolo de comunicaciones cuidadosamente definido, llamado la interfaz de radio. La interfaz de radio (IR) debe asegurar una gran fiabilidad en el canal para asegurar que los datos se envían y se reciben correctamente entre el móvil y la estación base, y es por ello por lo que se realizan una codificación de la voz (de la fuente) y una codificación del canal.

En lo que se refiere a la estructura básica del GSM el sistema se organiza como una red de células radioeléctricas continuas que proporcionan cobertura completa al área de servicio.



|   |   |                                      |
|---|---|--------------------------------------|
| SIM Subscriber Identity Module              | BSC Base Station Controller                 | MSC Mobile services Switching Center |
| ME Mobile Equipment                         | HLR Home Location Register                  | EIR Equipment Identity Register      |
| BTS Base Transceiver Station                | VLR Visitor Location Register               | AuC Authentication Center            |
| OMC-R Operation Management Center Regionale | OMC-N Operation Management Center Nazionale |                                      |

La Estación Móvil (Mobile Station MS) es el terminal radio móvil transportado por el abonado. El Subsistema de la estación base se ocupa del control de la conexión radio con el MS. El subsistema de la red realiza la conmutación de las llamadas entre redes móviles y la red fija o hacia otras redes de radio móviles y se ocupa además de la supervisión de la movilidad de los abonados. Desde el Centro de la Control de la Red se pueden controlar todas las operaciones en curso, además de efectuar la configuración de la red.

La descripción de los elementos que componen la red se explica a continuación.

### Estación Móvil

La Estación Móvil está formada por el Equipo Móvil (el terminal GSM) y por el Modulo de Identidad del Subscriptor (Subscriber Identity Module (**SIM**)), una pequeña tarjeta dotada de memoria y microprocesador, que permite identificar al abonado independientemente del terminal usado; y por tanto la posibilidad de continuar recibiendo y efectuando llamadas y utilizar todos los servicios suscritos insertando la tarjeta SIM también en un terminal que no sea el propio.

- **Equipo Móvil**

El Equipo Móvil está inequívocamente identificado dentro de cualquier red GSM por la Identidad del Equipo Móvil Internacional (International Mobile Equipment Identity (**IMEI**)).

El IMEI es un número de 15 cifras y tiene la siguiente estructura;

$$\mathbf{IMEI = TAC / SNR / sp}$$

Donde:

**TAC** = Aprobación del tipo de código (Type Approval Code), determinado por el cuerpo central del GSM (6 CIFRAS).

**FAC** = Código Final de ensamble (Final Assembly Code), identifica al fabricante (2 cifras).

**SNR** = Número serial (Serial Number) (6 cifras).

**Sp** = Cifra suplementaria de reserva (1 cifra).

Los terminales GSM están subdivididos en cinco clases basándose en la misma potencia con la que pueden transmitir sobre el canal radio, que varía desde un máximo de 20 Watts a un mínimo de 0.8 Watts.

La siguiente tabla resume las características de estas cinco clases.

| CLASE | POTENCIA MÁXIMA | TIPO      |
|-------|-----------------|-----------|
| 1     | 20              | VEHICULAR |
| 2     | 8               | PORTÁTIL  |
| 3     | 5               | PORTÁTIL  |
| 4     | 2               | PORTÁTIL  |
| 5     | 0.8             | PORTÁTIL  |

*Clases de potencia para el MS*

La potencia del MS determina la capacidad de ésta última para alejarse de la estación transmisora/receptora (**BTS**) de la red y poder seguir disfrutando del servicio.

Una peculiaridad de los **MS** está formada por la capacidad de variar la potencia de emisión de la señal sobre el canal radio de forma dinámica en 18 niveles, con el fin de poder mantener en cada momento la potencia de transmisión óptima, limitando así las interferencias co-canal inducidas sobre las celdas adyacentes y por tanto reduciendo los consumos del terminal. Estos dos últimos aspectos están mejorados por el Transmisión Discontinua (Discontinuos Transmit (**DTX**) que inhibe la transmisión cuando el usuario no habla, gracias a la función Detección de actividad de voz (Voice Activity Detection (**VAD**) que verifica la presencia o no de actividad vocal. El aumento o la disminución de la potencia de la señal transmitida le llega a la MS desde el **BSS** que monitorea constantemente la calidad de comunicación.

- **SIM**

La tarjeta SIM contiene la Identidad del Equipo Móvil Internacional (**ISMI**), usada para identificar al abonado en cualquier sistema GSM, los procedimientos de criptografía que garantizan la confidencialidad de la información del usuario, otros datos como por ejemplo memorias alfanuméricas del teléfono y memorias para mensajes de texto (**SMS**) y finalmente una contraseña para impedir el uso no autorizado de dicha tarjeta y para el acceso a posteriores funciones.

La IMSI tiene la siguiente estructura:

**MCC / MNC / MSIN**

Donde:

**MCC** = Código Móvil de País (*Mobile Country Code* (2 o 3 cifras)

**MNC** = Código de la red Móvil (*Mobile Network Code* (2 cifras,)

**MSIN** = Número de Identificación de la Estación Móvil (*Mobile Station Identification Number* (máx. 13 cifras)

### **Sub-sistema de la Estación Base (Base Station Sub-System)**

El Sub-sistema de la Estación Base controla la interfaz radio. Está compuesto por una o más Estación Base de Transmisión (Base Transceiver Station (**BTS**)) y por un Estación Base de Control (Base Station Controller (**BSC**)). Estos elementos se comunican entre sí a través de una interfaz estandarizada tipo A-bis, con el fin de permitir operaciones incluso entre componentes construidos por fabricantes diferentes, además el BSC está conectado al Centro de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center (**MSC**)) mediante una interfaz tipo A.

#### **• BTS Base Transceiver Station**

La Estación Base de Transmisión aloja todos los receptores transmisores que sirven una celda y que se interesan por recibir y enviar información al canal radio, abasteciendo una interfaz física entre la Estación Móvil y el BSC. EL BTS ejerce una serie de funciones descritas a continuación:

- Capacidad de gestionar canales Full Rate y Half Rate.
- La gestión de la *Diversidad de Antenas*, es decir la utilización de dos antenas de recepción para mejorar la calidad de la señal recibida; las dos antenas reciben de forma independiente la misma señal y están afectadas de distinto modo por el *fading*; la posibilidad de que ambas sean afectadas contemporáneamente por un *fading* profundo es muy pequeña.
- Supervisión de la *Relación de Ondas Estacionarias (ROS)* en las antenas.

- *Salto de frecuencia (Frequency Hopping (FH))*: cambio de la frecuencia usada en un canal radio a intervalos regulares, con el fin de mejorar la calidad del servicio a través de las distintas frecuencias.
  - *Transmisión Discontinua (Discontinuous Transmission (TDX))* ya sea en el up-link como en el downlink.
  - El *Control Dinámico de la Potencia (DPC)* del MS y de la BTS: el BSC determina la potencia óptima con la que el MS y la BTS deben transmitir sobre el canal radio (explotando las mediciones realizadas por MS y BTS), para mejorar la eficiencia espectral.
  - La gestión de los algoritmos de clave: la información de los usuarios criptografía para garantizar al abonado una cierta discreción sobre el canal de tráfico y el de señalización. El proceso de criptografía de los datos debe ser realizado por la BTS sobre las informaciones transmitidas el canal radio; el algoritmo de criptografía que debe utilizarse es comunicado a la BTS por la BSC en base a las indicaciones recibidas por la MSC y la clave criptográfica única para cada usuario. Actualmente el Standard GSM admite 8 algoritmos de clave.
  - Monitorización de la conexión radio realizando medidas significativas sobre señales RF, medidas que luego se envían a la BSC para la elaboración con la finalidad de asegurar un elevado nivel de calidad de la conexión.
- 
- **BSC (Base Station Controller)**

La Estación Base de Control gobierna los recursos radio para una o más BTS, controlando la conexión entre las BTS y las MSC (centrales de conmutación que proporcionan la conexión a la red física y a otras redes), y además gestionando los canales radio, la señal, el salto de frecuencia y los handover. En particular permite:

- La gestión y configuración del canal radio: para cada llamada tiene que elegir la celda correcta y una vez en su interior seleccionar el canal radio más apto para efectuar la conexión.
- La gestión de los handover: sobre la base de las medidas recibidas por el BTS, decide cuando efectuar el handover, es decir el cambio de celda cuando el usuario se desplaza durante una conversación dentro del área de cobertura de su competencia.

- Funciones de transcodificación de los canales radio Full Rate (16 kbps) o Half rate (8 kbps) en canales a 64 kbps.

### Sub-sistema de la red

El Sub-sistema de la red explica las funciones de conmutación para la conexión con otros abonados de la red fija o móvil mediante la **MSC** y las funciones de la base de datos, distribuidas en 4 nodos inteligentes (**HLR, VLR, AUC, EIR**) para la identificación de los terminales y de los usuarios, la actualización de su posición, la autenticación y conducción de las llamadas a un abonado en roaming.

#### • **MSC Mobile Switching Centre**

El Mobile Switching Centre (**MSC**) es el elemento central del NSS. Se ocupa, basándose en las informaciones recibidas desde el NLR y desde el **VLR**, de la conducción (routing) y gestión de la señal de todas las llamadas directas y provenientes desde varios tipos de redes, como **PSTN, ISDN, PLMN** y **PDN**. Implementa además las funciones de gateway con los otros componentes del sistema y de gestión de los procesos de handover, conmutando las llamadas en curso entre BSC diferentes o hacia otro MSC.

Dentro del servicio pueden estar presentes más MSC y cada una es responsable de la gestión del tráfico de una o más BSS y desde el momento en que los usuarios se trasladan por toda el área de cobertura, para garantizar a cada uno un nivel de servicio constante, los MSC tienen que encontrarse en situación de gestionar números de usuarios variables en tipología además de en calidad.

Otras funciones fundamentales de los MSC se describen a continuación:

- Autenticación del que llama; la identificación de la MS que ha efectuado la llamada es necesaria para determinar si el usuario está habilitado para disfrutar del servicio.
- Confidencialidad acerca de la identidad del usuario: para garantizar la confidencialidad acerca de la identidad de un usuario en el canal radio, aún estando ya todas las informaciones criptografiadas, el sistema no transmite nunca el **IMSI** asignado cuando el usuario suscribe el abono; sin

embargo se le asigna el Temporary Mobile Subscriber Identity (**TMSI**), que se asigna en el momento de la llamada y tiene un significado temporal: crear la correspondencia entre TMSI e IMSI es tarea del MSC y cuando el móvil se desplaza al área de localización controlada por otro MSC, se le tiene que asignar un nuevo TMSI.

- o Proceso de *handover*: en la red GSM un usuario puede continuar utilizando el servicio aunque atravesase durante la conversación los límites de la celda en la que se encuentra. Se pueden verificar dos casos:
  1. La MS se traslada a una celda controlada siempre por el mismo MSC; en este caso el proceso de *handover* es gestionado por el mismo MSC.
  2. La nueva celda a la que se traslada la MS está controlada por otro MSC; en este caso el proceso de *handover* se produce desde dos MSC basándose en las medidas de señal monitorizadas por la BTS que reciben la MS.

## • **HLR Registro de localización (Home Location Register)**

Cuando un usuario suscribe un nuevo abono a la red GSM, todas las informaciones para su identificación se memorizan en la **HLR**. Tiene la función de comunicar al VLR, que posteriormente veremos, algunos datos relativos a los abonados, en el momento en que estos se desplazan desde un *Área de Localización* a otra. Dentro del HLR los abonados son identificados por el número:

$$\mathbf{MSISDN = CC / NDC / SN}$$

Donde:

**CC** = Código de País (*Country Code*), prefijo internacional.

**NDC** = Código Nacional de Destino (*National Destination Code*), prefijo nacional del abonado sin el Cero.

**SN** = Número de suscripción (*Subscriber Number*), número que identifica al usuario móvil.

La Registro de localización (**HLR**) es una base de datos (archivo) que puede ser único para todo el red o bien distribuido en el sistema; se pueden por tanto tener MSC sin los HLR, pero conectadas al de otras **MSC**. Cuando existen más HLR, a cada uno de ellos se les asigna un área de numeración, es decir un set de

Numero de ISDN de la Estación Móvil (*Mobile Station ISDN Number* (**MSISDN**)). El MSISDN identifica unívocamente una suscripción de teléfono móvil en el plano de numeración de la red telefónica conmutada pública internacional.

El **HLR**, como todos las demás bases de datos que después veremos, está implementado en una estación de trabajo cuyas prestaciones (memoria, procesadores, capacidad de los discos) son actualizables cuando crece el número de abonados. Aquél contiene todos los datos relativos a los abonados y en particular las informaciones que están contenidas en él son:

- **Informaciones de tipo permanente:**
  - La identidad Internacional del Suscriptor Móvil (*International Mobile subscriber Identity* (**IMSI**)), que es la información que identifica al abonado dentro de una cualquiera de la red GSM y que está contenido también en el interior de la SIM.
  - El Numero ISDN de la Estación Móvil (*Mobile Station ISDN Number* (**MSISDN**)).
  - Los tipos de servicio suscritos por el abonado a los cuales tiene derecho a acceder (voz, servicio datos, **SMS**, eventuales bloqueos para llamadas internacionales, otros servicios auxiliares).
- **Informaciones de tipo dinámico:**
  - Posición corriente del **MS**, es decir la dirección del **VLR** en la que está registrada.
  - El estado de eventuales servicios auxiliares.

**Resumiendo** las funciones implementadas por la **HLR** son:

- *Seguridad*: diálogo con el **AUC** y el **VLR**.
- *Registro de la posición*: diálogo con el **VLR**.
- *Coste de la llamada* (**Charge**): diálogo con el **MSC**
- *Gestión de los datos del abonado*: diálogo con el **OMC** y el **VLR**.
- *Gestión de los datos estadísticos*: los datos recogidos se envían al **OMC**.

- **VLR Localización del Registro Visitante (Visitor Location Register)**

El Localización del registro visitante (**VLR**) es una base de datos que memoriza de modo temporal los datos de todos los abonados que se encuentran en un área geográfica bajo su control. Estos datos se piden al **HLR** perteneciente al abonado. En general para simplificar las señalizaciones requeridas y la estructura del sistema, los fabricantes implementan el **VLR** y el **MSC** juntos, de modo que el área geográfica controlada por el **MSC** corresponde a la controlada por el **VLR**.

En particular las informaciones que contiene son:

- *Identificación temporal del suscriptor Móvil (Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), usado para garantizar la seguridad del IMSI, se asigna cada vez que se cambia a otra área de cobertura.*
- Estado del **MS** (standby, ocupado, apagado).
- El estado de los servicios suplementarios como llamada en Espera (*Call Waiting*), Desviación de llamada (*Call Divert*), Bloqueo de llamada (*Call Barring*), etc.
- Los tipos de servicios suscriptos por el abonado al que se le permite acceder (voz, servicio datos, **SMS**, otros servicios auxiliares).
- La Identificación del área de Localización (*Location Area Identity (LAI)* en la que se encuentra la **MS** dentro de aquéllas bajo el control del **MSC/VLR**.

- **AUC (Authentication Center)**

La Central de Autenticación es una función del sistema que se ocupa de verificar si el servicio ha sido solicitado por un abonado legítimo, proporcionando ya sea los códigos para la autenticación como la clave, para proteger tanto al abonado como al operador de red, de intrusiones del sistema por parte de terceros.

El mecanismo de **autenticación** verifica la legitimidad de la SIM sin transmitir sobre el canal radio las informaciones personales del abonado, como IMSI y llaves de clave, a fin de verificar que el

abonado que está intentando el acceso sea el verdadero y no un clon; la **clave** sin embargo genera algunos códigos secretos que se usarán para encriptar toda la comunicación cambiada por error sobre el canal radio. Los códigos de autenticación y clave están generados casualmente por cada abonado en particular por algunos algoritmos definidos por el estándar y que son memorizados además de en la **AUC** también en la SIM.

La autenticación se produce cada vez que la MS se conecta a la red y más precisamente en los siguientes casos:

- Cada vez que la MS recibe o efectúa una llamada.
- Cada vez que se efectúa la actualización de la posición de la MS (actualizar locaciones).
- Cada vez que se solicita la activación, desactivación o información sobre los servicios suplementarios.

La **AUC** puede ser implementada también como otra aplicación en la misma estación de trabajo en que se encuentra la **HLR**, que es el único elemento del sistema con el que está interactuando y dialoga, y además no puede ser gestionado por control remoto por motivos de seguridad.

#### • **EIR (Equipment Identity Register)**

El Equipment Identity Register es un archivo que verifica si un Equipo Móvil (EM) está autorizado o no para acceder al sistema. La base de datos está dividida en tres secciones:

- **Lista Blanca (White List):**

Contiene todos los IMEI designados a todos los operadores de las varias naciones con las que se tienen acuerdos de roaming internacional.

- **Lista Negra (Black List):**

Contiene todos los IMEI que se consideran bloqueados (por ejemplo los robados).

- **Lista Gris (Grey List):**

Contiene todos los IMEI marcados como *defectuoso* o también los relativos a aparatos no homologados. Los terminales introducidos en la *lista Gris* les son señalados a

los operadores de sistema a través de una alarma cuando solicitan el acceso, permitiendo la identificación del abonado que utiliza el terminal y del área de llamada en donde se encuentra.

A cada tentativa de conexión de la **MS** con la red, la **MSC** mediante la **EIR** verifica la existencia de uno de los siguientes casos, para permitir o no el acceso:

- el terminal está homologado para la conexión con una red GSM.
- el terminal no ha sido robado o utilizado fraudulentamente.
- el terminal no está marcado como defectuoso.

El **EIR** puede ser único para todo el sistema o bien puede estar implementado en una configuración distribuida. Puede encontrarse en la misma estación de trabajo en que se encuentran **HLR** y **AUC**, pero generalmente es preferible tenerlo en una máquina a parte por razones de seguridad. Se puede acceder también por control remoto para permitir la actualización de las diferentes listas contenidas en él desde cada punto de la red.

En el futuro está prevista la interconexión con todos los EIR de los diferentes operadores GSM, para evitar el uso de aparatos robados en países distintos de aquellos en los que ocurrió el robo.

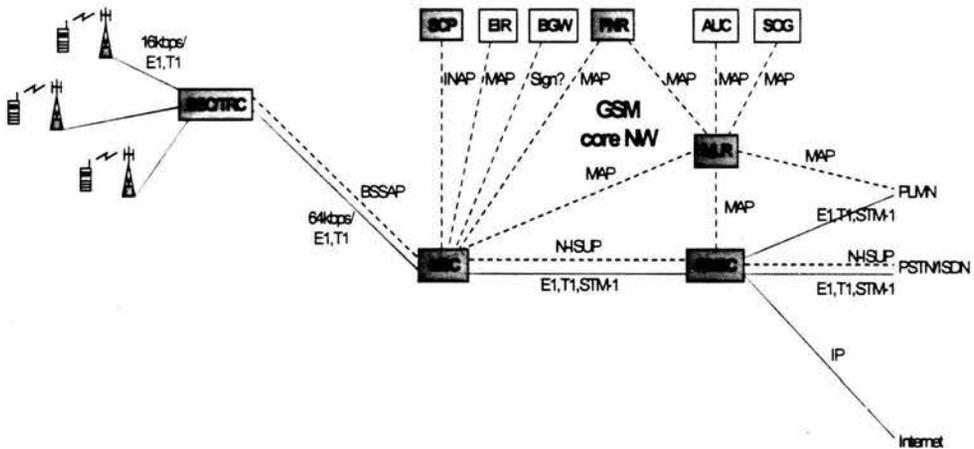
#### • **OMC (Operation and Maintenance Center)**

El Centro de Operación y Mantenimiento tiene las siguientes funciones:

- Acceso remoto a todos los elementos que componen la Red GSM (BSS, MSC, VLR, HLR, EIR y AUC).
- Gestión de las alarmas y del estado del sistema con posibilidad de efectuar varios tipos de pruebas para analizar las prestaciones y verificar el correcto funcionamiento del mismo.
- Recogida de todos los datos relativos al tráfico de los abonados necesarios para la facturación.
- Supervisión del flujo de tráfico a través de las centrales e introducción de eventuales cambiantes del flujo mismo.
- Visualización de la configuración de la red con posibilidad de cambiarla por control remoto.

- Administración de los abonados y posibilidad de poder conocer su posición dentro del área de cobertura.

En algunos sistemas de grandes dimensiones, pueden existir más **OMC**. En este caso existirá un **OMC** general desde el que es posible controlarlo todo (**OMC-N**) y otros **OMC** limitados al control de algunas zonas (**OMC-R**).



Cada célula pertenece a una estación base (BTS) que opera en un conjunto de canales de radio diferentes a los usados en las células adyacentes y que se encuentran distribuidas según un plan celular.

Un grupo de BTS's se encuentran conectado a un controlador de estaciones base (BSC), encargado de aspectos como el handover (traspaso del móvil de una célula a otra) o el control de potencia de las BTS's y de los móviles.

En consecuencia el BSC se encarga del manejo de toda la red de radio y supone una autentica novedad respecto a los anteriores sistemas celulares.

Una o varias BSC's se conectan a una central de conmutación de móviles (MSC). Este es el corazón del GSM como responsable de la inicialización, enrutamiento, control y finalización de las llamadas, así como de la información sobre la tarificación. Es también la interface

entre diversas redes GSM o entre una de ellas y las redes públicas de telefonía o datos.

La información referente a los abonados se encuentra almacenada en dos bases de datos que se conocen como registro de posiciones base (HLR) y registro de posiciones de visitantes (VLR). El primero analiza los niveles de suscripción, servicios suplementarios y localización actual, o mas reciente de los móviles que pertenecen a la red local.

Asociado al HLR trabaja el centro de autenticación (AUC), que contiene la información por la que se comprueba la autenticidad de las llamadas con el fin de evitar los posibles fraudes, la utilización de tarjetas de abonado (SIM's) robadas o el disfrute del servicio por parte de impagados.

El VLR contiene la información sobre los niveles de suscripción, servicios suplementarios y red de localización para un abonado que se encuentra o al menos se encontraba recientemente en otra zona visitada. Esta base de datos dispone también de información relativa si el abonado se encuentra activo o no, lo que evita el uso improductivo de la red (envío de señales a una localización que se encuentra desconectada)

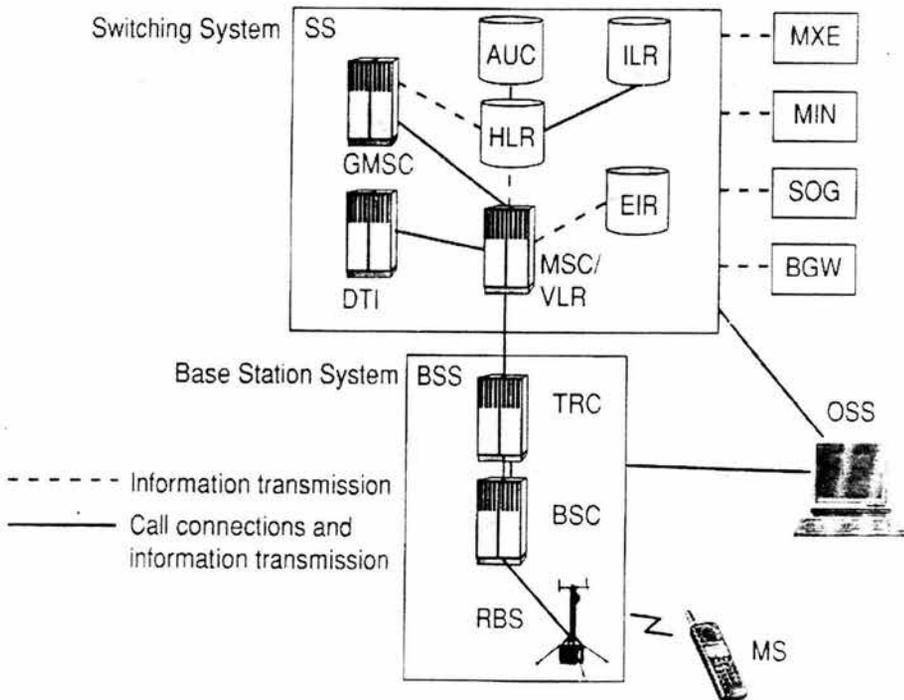
El registro de identidad de los equipos (EIR) almacena información sobre el tipo de estación móvil en uso y puede eludir que se realice una llamada cuando se detecte que ha sido robada, pertenece a algún modelo no homologado o sufre de algún fallo susceptible de afectar negativamente a la red.

En cuanto a las comunicaciones en la red, se ha desarrollado un nuevo esquema de señalización digital. Para la comunicación entre MSC's y registros de posición se utiliza la parte de aplicación para móviles del Sistema de Señalización numero 7 del CCITT, formula casi imprescindible para la operación de redes GSM a nivel internacional.

Entre las diversas entidades de la red se encuentran definidos interfaces estándar que aseguren un método común de acceso para todos los móviles, tanto los de diferentes países como los de diferentes suministradores.

### 3.3 Subsistemas en GSM

Dentro de una breve descripción de la organización interna de GSM, podríamos identificar los siguientes subsistemas: la Estación Móvil ("Mobile Station" ó MS) y el subsistema de la estación base ("Base Station Subsystem" ó BSS) de los cuales ya hemos hablado algo. El Subsistema de Red y de Conmutación ("Network Switching Subsystem" ó NSS) debe gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a otro tipo de redes (como puede ser la PTSN), o a otras estaciones móviles. Además tendríamos el Centro de Operación y Mantenimiento ("Operation and Service Subsystem" u OSS), que no está muy detallado en las Especificaciones de GSM. Las MS, BSS y la NSS forman la parte operacional del sistema, mientras que el OSS proporciona los medios para que el operador los controle.



### 3.3.1 La Estación Móvil (MS)

La estación móvil representa normalmente la única parte del sistema completo que el usuario ve. Existen estaciones móviles de muchos tipos como las montadas en coche, y los equipos portátiles, pero quizás las más desarrolladas sean los terminales de mano.



Una estación móvil además de permitir el acceso a la red a través de la interfaz de radio con funciones de procesado de señales y de radio frecuencia, debe ofrecer también una interfaz al usuario humano (un micrófono, altavoz, display y tarjeta, para la gestión de las llamadas de voz), y/o una interfaz para otro tipo de equipos (ordenador personal, o máquina facsímil o fax).



Otra parte dentro de la estación móvil es el Módulo de Identificación del Abonado ("Subscriber Identity Module" ó SIM).

### 3.3.2 El Sistema de Estación Base (BSS)

El concepto del Sistema de Estación Base (BSS) hace uso óptimo del espectro de frecuencia limitado. Para dar la mejor solución BSS, usa un Controlador de Estación Base (BSC) de alta capacidad que sirve a una amplia área, y permite más potencia entre los algoritmos BSC que se usarán. Los algoritmos de localización y la Estructura Celular jerárquica (HCS) aseguran que el tráfico sea distribuido hacia la mejor célula capaz de manejar la llamada y puede, en caso de una congestión en la célula sencilla, distribuir el tráfico a otras células con capacidad de respuesta con impacto mínimo en el usuario final. El BSS también contiene funciones para transferencia de llamada en forma rápida, precisa, y confiable a la célula o canal correcto.

## BSC

El BSC administra todas las funciones de radio frecuencia en el sistema y es el punto central de los BSS. El BSC puede administrar la red total de radio, manejando las conexiones hacia la Estación Móvil (los handovers); administra las BTSs y controla la red de transmisión así como también las RBS a control remoto. Una importante razón para tener un poderoso BSC que sea capaz de controlar varias RBSs es la necesidad de usar eficientemente los recursos de radio frecuencia disponibles (frecuencias, calidad de voz, etc.). Cuando un gran BSC controla la red de radio bases, este puede eficientemente balancear temporalmente los niveles fuera en las horas de alto tráfico. El BSC también ayuda a supervisar los circuitos hacia el MSC y ordenar el bloqueo de circuitos con falla.

La eficiencia de transmisión de BSC es una de las operaciones más importantes para las compañías que concierne a la reducción de costos de operación, y se han tomado medidas para reducir la cantidad de enlaces de transmisión físicos por sitio. Además, la velocidad media refuerza la capacidad total.

BSC usa macrocélulas como células superpuestas y adyacentes y una microcélula en combinación de célula. Esto permite el manejo de vehículos que se mueven rápido con Estaciones Móviles en macrocélulas, permite que sirva a áreas ("hotspots") donde las células son superpuestas con llamadas en microcélulas y llena las áreas con la cobertura de la célula. La mejor localización para un BSC en la trayectoria de transmisión entre MSC y la RBS varía de una red a otra. En la mayoría de los casos se usa un nodo MSC/BSC combinado que será una solución atractiva para las compañías operadoras pequeñas.

Los BSCs más grandes manejan hasta 512 células (TRU) y usan un APZ de gran capacidad. El MSC/BSC combinado se prevé para capacidades menores, será portátil y es ideal para compañías operadoras móviles que inician. (Si una compañía operadora pequeña compra un BSC más grande posteriormente, el MSC/BSC combinado puede usarse como un complemento de éste o como un standby transportable. Los costos de transmisión son menores en el MSC/BSC combinado que en el BSC más grande debido a las premisas compartidas para todos los nodos (MSC/VLR/HLR, AUC/EIR, etc.) En cualquier caso se han tomado medidas para reducir la cantidad de enlaces de transmisión y reforzar toda la eficiencia de transmisión. Como los costos de operación y mantenimiento son bajos los requerimientos de personal son menores para el MSC/BSC combinado.

El Sistema de la Estación Base contiene estos nodos:

- *El Controlador de la Estación Base (BSC)* es una central de alta capacidad responsable de las funciones de radio tales como transferencia de llamadas en proceso entre las Estaciones Base (handover), administrando los recursos de la red de radio y manejando los datos de configuración de células. También controla los niveles de potencia de radio en las RBSs (BTS) y de las Estaciones Móviles. Un BSC es en definitiva un pequeño conmutador con una gran capacidad de cómputo. Sus funciones principales, como ya hemos dicho son la gestión de los canales de radio y de los handovers. Un BSC típico consiste en uno o dos armarios, y puede gestionar hasta algunas decenas de BTS, dependiendo de su capacidad de tráfico.
- *La Estación Base del Transceptor (BTS)* es el equipo de radio necesario para servir una célula (de acuerdo a GSM). Las Estaciones Base de Radio (RBSs), sin embargo, son el equipo necesario para servir a varias células. La interfase de tráfico entre el BSC y el BTS es la interfase Abis. Típicamente, un MSC en el Sistema de Conmutación supervisa uno o más BSC, el cual puede a su vez controlar un número de BTS. Un BTS lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el procesado de señales específico a la interfaz de radio, y que se verá con posterioridad. Los BTSs se pueden considerar como complejos módems de radio, con otras pequeñas funciones. Un BTS típico de la primera generación consistía en unos pequeños armarios (de 2 m de alto y 80 cm. de ancho) conteniendo todos los dispositivos electrónicos para las funciones de transmisión y recepción. Las antenas tienen generalmente unos pocos metros, y los armarios se conectan a ellas por unos cables de conexión. Un BTS de este tipo era capaz de mantener simultáneamente 3 ó 5 portadoras de radio, permitiendo entre 20 y 40 comunicaciones simultáneas. Actualmente el volumen de los BTS se ha reducido mucho, esperándose un gran avance en este campo dentro de GSM.

### **3.3.3 El Subsistema de Conmutación de la Red ("Network Switching Subsystem" ó NSS)**

El NSS incluye las principales funciones de conmutación en GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de los abonados y

para la gestión de la movilidad. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicaciones. Dentro del NSS, las funciones básicas de conmutación están realizadas por el MSC (Centro de Conmutación de servicios Móviles), cuya función principal es coordinar el establecimiento de llamadas hacia y desde los usuarios GSM. El MSC tiene interfaces con el BSS por un lado (a través del cual está en contacto con los usuarios GSM), y con redes externas por el otro. La interfaz con las redes externas requiere un "gateway" para la adaptación (Funciones de "Interworking"), cuya función es más o menos importante dependiendo del tipo de datos y de la red a la que se accede.

El NSS también necesita conectarse a las redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos o señalización entre entidades GSM. En particular el NSS hace uso de un tipo de señalización parcialmente externo a GSM, esta red de señalización habilita el trabajo interactivo entre máquinas del NSS dentro de una o varias redes GSM.

Como parte del equipo, un MSC controla unos cuantos BSCs y es normalmente bastante grande. Un MSC típico es capaz de cubrir una capital mediana y sus alrededores, totalizando una cobertura de cerca de 1 millón de habitantes. Un MSC incluye cerca de media docena de armarios de conmutación.

Además de los MSCs, el NSS incluye las bases de datos. La información del abonado relativa al suministro de los servicios de telecomunicación está situada en el Registro de Posiciones Base ("Home Location Register" ó HLR), independientemente de la posición actual del abonado. El HLR también incluye alguna información relacionada con la posición actual del abonado. Como una máquina física, un HLR es típicamente una computadora independiente, sin capacidades de conmutación, y capaz de manejar a cientos o miles de abonados. Una subdivisión funcional del HLR es el Centro de Autenticación ("Authentication Center" ó AuC, cuya función se limita a la gestión de la seguridad de los datos de los abonados.

La segunda función de bases de datos identificada en GSM es el VLR (Registro de Posiciones Visitado), asociado a uno o más MSCs, y encargado del almacenamiento temporal de los datos para aquellos abonados situados en el área de servicio del correspondiente MSC, así como de mantener los datos de su posición de una forma más precisa que el MSC.

Pero el NSS contiene más elementos que los MSCs, VLRs y HLRs. Para

establecer una llamada hacia un usuario GSM, la llamada es primero encaminada a un conmutador-gateway llamado GMSC, sin ningún conocimiento de dónde está el abonado. Los GMSCs están encargados de buscar la información sobre la posición y encaminar la llamada hacia el MSC a través del cual el usuario obtiene servicio en ese instante.

### **3.3.4 Centro de Operaciones y Mantenimiento (OSS)**

*El Sistema de Operación y Soporte (OSS)* es un producto y herramienta de administración de red basada en el software del nodo del sistema que hace posible centralizar la operación, soportar y administrar una red. Las funciones básicas siempre se pueden acceder desde las terminales de operación y mantenimiento locales. Pero las tareas administrativas de la red de alto nivel pueden ejecutarse desde uno o múltiples Centros de Operación y Mantenimiento (OMC), Centros de Administración de Red (NMCs), o de ambos, a través del OSS. El OSS es necesario para la administración eficiente de la red de acuerdo al rápido crecimiento de ésta.

El OSS también proporciona funciones para la administración de configuración de la red de radio, así como las mediciones de tráfico de radio y de la red, post-procesamiento, despliegue, y generación de reportes.

El sistema de operación y soporte es la entidad funcional de la cual el operador de red monitorea controla y vigila el sistema. Es de dos niveles la función de la gerencia con un centro subordinado de operación y mantenimiento (OMC). El soporte NMC se concentra en un sistema mientras que el personal local de cada OMC se concentra en términos cortos regionales asignados.

El OSS es diseñado para proporcionar un sistema gerencial, el cual respalda a cada uno de los elementos de la red, el centro de servicio móviles de conmutación (MSC), controlador de la RBS, (BSC), estación transceiver (BTS), registro de localización de los visitantes (VLR), registro de localización de usuario local (HLR), registro de identidad (EIR), centro de autenticación (AUC) y nodos de red de inteligencia móvil (IN).

### 3.4 Interface de Radio.

Un canal de radio es un medio extraordinariamente hostil para establecer y mantener comunicaciones fiables. Todos los esquemas y mecanismos que usamos para hacer posible la comunicación en el canal de radio, se agrupan en los procedimientos de la interfaz de radio.

#### **Acceso a sistemas truncados.**

Si el número de canales disponibles para todos los usuarios de un sistema de radio es menor que el número de posibles usuarios, entonces a ese sistema se le llama sistema de radio truncado. El truncamiento es el proceso por el cual los usuarios participan de un determinado número de canales de forma ordenada. Los canales compartidos funcionan debido a que podemos estar seguros que la probabilidad de que todo el mundo quiera un canal al mismo tiempo es muy baja. Un sistema de telefonía celular como GSM es un sistema de radio truncado, porque hay menos canales que abonados que posiblemente quieran usar el sistema al mismo tiempo. El acceso se garantiza dividiendo el sistema en uno o más de sus dominios: frecuencia, tiempo, espacio o codificación.

FDMA (Frequency Division Multiple Access) es la manera más común de acceso truncado. Con FDMA, se asigna a los usuarios un canal de un conjunto limitado de canales ordenados en el dominio de la frecuencia. Los canales de frecuencia son muy preciados, y son asignados a los sistemas por los cuerpos reguladores de los gobiernos de acuerdo con las necesidades comunes de la sociedad. Cuando hay más usuarios que el suministro de canales de frecuencia puede soportar, se bloquea el acceso de los usuarios al sistema. Cuantas más frecuencias se disponen, hay más usuarios, y esto significa que tiene que pasar más señalización a través del canal de control. Los sistemas muy grandes FDMA frecuentemente tienen más de un canal de control para manejar todas las tareas de control de acceso. Una característica importante de los sistemas FDMA es que una vez que se asigna una frecuencia a un usuario, ésta es usada exclusivamente por ese usuario hasta que éste no necesite el recurso.

TDMA (Time Division Multiple Access) es común en los sistemas de telefonía fija. Las últimas tecnologías en los sistemas de radio son la codificación de la voz y la compresión de datos, que eliminan redundancia y periodos de silencio y decrementan el tiempo necesario en representar un periodo de voz. Los usuarios acceden a un canal de acuerdo con un esquema temporal. Aunque no hay ningún

requerimiento técnico para ello, los sistemas celulares, que emplean técnicas TDMA, siempre usan TDMA sobre una estructura FDMA. Un sistema puro TDMA tendría sólo una frecuencia de operación, y no sería un sistema útil. TDMA es un concepto bastante antiguo en los sistemas de radio.

En los sistemas modernos celulares y digitales, TDMA implica el uso de técnicas de compresión de voz digitales, que permite a múltiples usuarios compartir un canal común utilizando un orden temporal. La codificación de voz moderna, reduce mucho el tiempo que se lleva en transmitir mensajes de voz, eliminando la mayoría de la redundancia y periodos de silencio en las comunicaciones de voz. Otros usuarios pueden compartir el mismo canal durante los periodos en que éste no se utiliza. Los usuarios comparten un canal físico en un sistema TDMA, donde están asignados unos timeslots de tiempo. A todos los usuarios que comparten la misma frecuencia se les asigna un timeslot de tiempo, que se repite dentro de un grupo de timeslots que se llama trama. Un timeslot GSM es de  $577 \mu\text{s}$ , y cada usuario tiene uso del canal (mediante su timeslot) cada  $4.615 \text{ ms}$  ( $577 \mu\text{s} \cdot 8 = 4.615 \text{ ms}$ ), ya que en GSM tenemos 8 timeslots de tiempo.

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

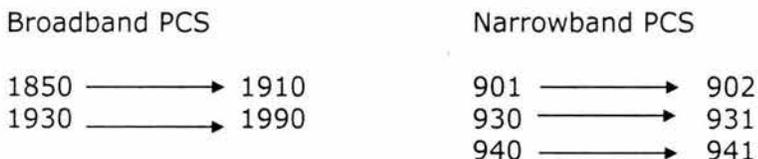
Debido a que es difícil y muy caro construir un sistema de radio que pueda transmitir y recibir señales al mismo tiempo y por la misma frecuencia, es común definir un canal de frecuencia con dos frecuencias de operación separadas, una para el transmisor y otra para el receptor. Todo lo que se necesita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

Muchos sistemas de radio móviles, como los sistemas de seguridad públicos, no requieren la operación full-dúplex. En estos sistemas se puede transmitir y recibir en la misma frecuencia pero no en el mismo tiempo. Esta clase de dúplex se llama half-dúplex, y es necesario que un usuario de una indicación de que ha terminado de hablar, y está preparado para recibir respuesta de otro usuario.

### 3.5 Frecuencia y Canales Lógicos

En Norte América, la FCC asignó un espectro de frecuencia para las comunicaciones celulares. El espectro de frecuencia es concedido en licencia a un proveedor que es identificado como proveedor de Banda A o Banda B. El proveedor de Banda A no tiene una red propia y el proveedor de Banda B es una compañía de líneas alámbricas o de red propia. Las licencias están concedidas para un área particular. Estas áreas se definen como Áreas Metropolitanas Estadísticas (MTA's) y Áreas Rurales (RSA's). Cada proveedor está obligado a dar sus servicios en el área donde tiene licencia.

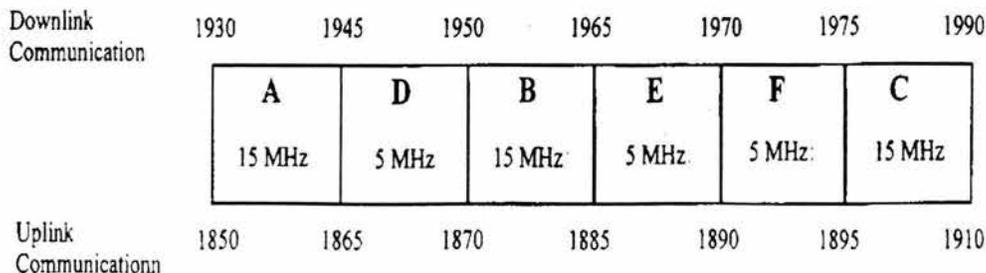
La subasta por el espectro de frecuencias para PCS fue realizada por la FCC. El siguiente espectro de frecuencia fue designado para PCS.



El espectro de esta banda se usa para proporcionar servicios en la categoría de comunicaciones inalámbricas para MTAs y BTAs. El espectro de banda angosta es usado para proporcionar servicios que incluyen voceo y transmisión de datos para MTAs y BTAs a nivel nacional y regional.

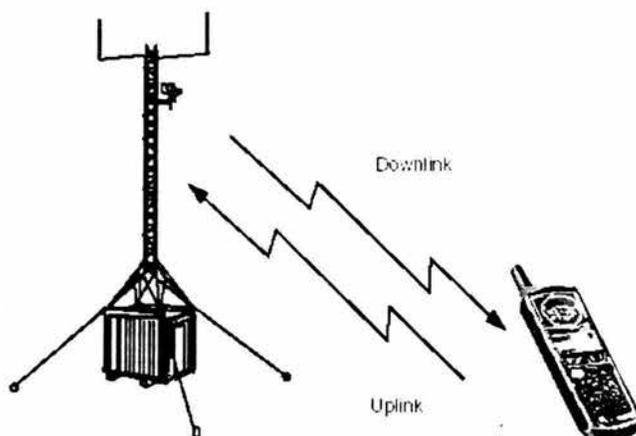
#### **Espectro de banda angosta.**

La FCC ubicó 120 MHz de espectro de banda angosta en el rango de 1850-1990 MHz para uso de operadores de PCS. Las bandas del espectro fueron designadas de acuerdo al siguiente diagrama:



Los bloques A y B fueron asignados para despliegue en los 51 MTA's mientras que los bloques restantes se asignaron a los 493 BTA'S. La porción de baja frecuencia de la banda es usada para comunicaciones uplink desde la estación móvil a la base, mientras que las frecuencias altas se usan para comunicarse en el downlink.

Los 20 MHz de frecuencias entre 1910 y 1930 son usadas para frecuencias sin licencia.



La separación entre portadoras para el sistema PCS GSM-1900 es de 200 KHz., proporcionando 299 canales.

Como cada portadora es compartida por 8 intervalos de tiempo (Timeslots, TSs), el número total de canales es de 2392.

Cada uno de estos canales es un intervalo de tiempo dentro de una trama TDMA y se denomina canal físico. Cada trama TDMA tiene 8 TS.

Entre la MS y la BTS (estación móvil y estación base) se transmite distinta información, para este propósito se usan -dentro de un TS- canales lógicos según sea el tipo de información.

Trama TDMA

$$8 * 0.577 \text{ms.} = 4.616 \text{ms.}$$

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

## Ráfaga

$$270.4\text{Kbit/s} * .577\text{ms} = 156.25\text{bit}$$

|      |     |      |     |      |      |
|------|-----|------|-----|------|------|
| FCCH | SCH | BCCH | PCH | RACH | AGCH |
|------|-----|------|-----|------|------|

### Canales Lógicos en TS1

La organización de los canales lógicos dentro de cada intervalo de tiempo es un tema complejo ya que existen muchas categorías. Inicialmente hay que dividir los canales lógicos en dos tipos:

- 1.- Canales de Control y
- 2.- Canales de Tráfico.

#### 1.- Canales de Control

##### Canales de Difusión (BCH)

Los canales de difusión permiten que la MS se sintonice con una estación base y se sincronice con la estructura de trama de la célula. Las estaciones base no están sincronizadas entre sí, luego al traspasar a otra celda, la MS debe contactar nuevamente el BCH de la estación vecina.

Los canales de difusión se transmiten en una portadora específica para cada celda, conocida como portadora cero. Como en una portadora hay 8 TS, los canales de difusión se ubican en el intervalo de tiempo cero ó TS0:

##### Canal de Corrección de Frecuencia (FCCH)

Transmite una señal sinusoidal para indicar que es una portadora de difusión y además para que la MS se sintonice con esa frecuencia.

##### Canal de Sincronización (SCH)

Permite que la MS establezca la debida conexión con la estación base. Este canal permite asegurar que la estación base contactada pertenezca a la red contratada por el usuario, además realiza la identificación del número de trama TDMA de la base para que la MS se sincronice con ésta.

### **Canal de Control de Difusión**

Este canal lógico transmite información acerca localización de la celda, la máxima potencia aceptada por la base y las portadoras BCH de células vecinas para que la MS realice medidas de potencia en ellas para el handover.

Los canales de difusión transmiten información desde base hacia todas las estaciones móviles ya que la información contenida es vital para la identificación y acceso a la red.

Esta conexión es descendente punto a multipunto.

### **Canales de Control Común (CCCH)**

Estos canales gestionan el establecimiento de la comunicación desde y hacia la MS cuando se quiere realizar o recibir una llamada.

La conexión en este caso es punto a punto y es ascendente u descendente según sea el canal, la ubicación de estos canales es en la portadora cero, en el TS0 al igual que los canales de difusión:

### **Canal de Búsqueda (Paging Channel, PCH)**

La MS escucha este canal para asegurarse si alguien quiere establecer contacto con ella. Descendente.

### **Canal de Acceso Aleatorio (RACH)**

La MS responde a la petición de búsqueda a través de él pidiendo un canal de señalización. También se usa cuando se quiere realizar una llamada. Ascendente.

### **Canal de Acceso Garantizado (AGCH)**

Informa de la asignación del canal de señalización. Descendente.

Tanto los BCH como los CCCH usan una parte de la portadora cero, los dos primeros TS; los cuales se repiten constantemente siguiendo un patrón cíclico de duración 51 TSs.

### **Canales de Control Dedicado (DCCH)**

El tercer tipo de canales lógicos de control permiten la conmutación hacia algún canal de tráfico, también llevan mensajes cortos de texto en ambos sentidos. Por último, por allí se envía información recogida por la MS hacia la base para que la red evalúe el traspaso a otra celda. El enlace es nuevamente de punto a punto.

### **Canal de Control Dedicado Independiente (SDCCH)**

Canal de señalización asignado por la red, este permite el proceso de establecimiento de llamada ordenándole a la MS conmutar hacia un canal de tráfico, definiéndole una portadora y un intervalo de tiempo. También transmiten mensajes de texto. Ascendente y Descendente. Este se transmite en la portadora cero en TS2.

### **Canal de Control Asociado Lento (SACCH)**

Durante el enlace ascendente envía mediciones de potencia y calidad de la señal, procedente de su estación base y de la potencia recibida de las bases vecinas. En Descendente, la MS recibe medidas acerca de qué potencia de transmisión debe utilizar e instrucciones de avance temporal. Transmitido en la portadora cero en TS2.

**FACCH:** Este canal envía información necesaria para el traspaso (handover) durante una conversación, esto se logra "robando" 20mS. de voz del canal de tráfico, el abonado no nota esta interrupción de voz. Este canal lógico ocupa parte de un canal de tráfico.

## **2.- Canales de Tráfico (TCH):**

Hay dos tipos de canales de tráfico:

### **Velocidad Total y Velocidad Media**

Actualmente sólo se utilizan TCH a velocidad total. Una vez que se hayan diseñado los codificadores a velocidad total con una calidad aceptable, se utilizarán canales a velocidad media.

Un TCH ocupa un canal físico a velocidad total, mientras que dos TCH pueden compartir un canal físico.

Los canales de tráfico usan algunos los otros 6 TS de la portadora cero (1,3-7) y si existen más portadoras en una celda todas ellas se subdividen en canales de tráfico.

### **Ráfagas y Tramas**

La información contenida en un intervalo de tiempo de una trama TDMA se denomina ráfaga. Hay cinco tipos de ráfagas. Las ráfagas tienen que ver con la estructura de bits con que son enviados los datos, no con el intervalo ni la portadora.

Ráfaga Normal : Se utiliza para transmitir información de tráfico y canales de control. Llevando los canales TCH, BCCH, PCH, AGCH, SDCCH, SACCH y FACCH.

| TB | Bits Encriptados |   | Secuencia de Entrenamiento |   | Bits Encriptados | TB |
|----|------------------|---|----------------------------|---|------------------|----|
| 3  | 57               | 1 | 26                         | 1 | 57               | 3  |

148 Bits Bits Encriptados (57): Contienen voz o datos en paquetes de 57 bits, más un bit de bandera que indica "modo robado" o sea que en su lugar va el canal de señalización FACCH.

La secuencia de entrenamiento (26) : Es un patrón de voz conocido por el receptor quien crea un modelo de canal capaz de corregir los errores en la recepción producto de la ISI.

Bits de Cola (3) : son siempre (0,0,0). Indican al ecualizador que es un punto de Comienzo/parada.

Como la duración de un intervalo de tiempo es de 0.577 ms. transmitidos a 270.4Kbit/s nos indica que hay disponibles 156.25 bits de los cuales hay 148 ocupados. Los restantes 8.25 bits equivalen a 30 ms. de período de guarda (GP). Este período permite al transmisor desplazarse por la celda evitando el solapamiento con los otros canales (Alineamiento Temporal).

Ráfaga de Acceso : Esta ráfaga se utiliza para acceder por primera vez a una nueva BTS después de un traspaso. El móvil puede encontrarse lejos de la base, lo que indica que la ráfaga inicial llegará más tarde. La cual debe ser más corta para evitar el solapamiento.

| TB | Secuencia de Sincronización | de Bits Encriptados | TB | GP    |
|----|-----------------------------|---------------------|----|-------|
| 8  | 41                          | 36                  | 3  | 68.25 |

Ráfaga de Relleno : Esta ráfaga la envía la BTS y no contiene información. El formato es idéntico al de una ráfaga normal con un cierto patrón de bits.

| TB | Patrón de Bits | Secuencia de Entrenamiento | de | Patrón de Bits | TB | GP   |
|----|----------------|----------------------------|----|----------------|----|------|
| 3  | 58             | 26                         |    | 58             | 3  | 8.25 |

Ráfaga de Corrección de Frecuencia : Se utiliza para la sincronización en frecuencia del móvil.

| TB | Patrón de Bits | TB | GP   |
|----|----------------|----|------|
| 3  | 142            | 3  | 8.25 |

Ráfaga de Sincronización : Se utiliza para la sincronización de la trama del móvil.

| TB | Bits Encriptados | Secuencia de Sincronización | de | Bits Encriptados | TB | GP   |
|----|------------------|-----------------------------|----|------------------|----|------|
| 3  | 39               | 64                          |    | 39               | 3  | 8.25 |

Finalmente, cabe señalar que los canales envían información cíclica, esto es, cada cierto período de tiempo pero constantemente. Según sea el canal usado y la cantidad de tramas TDMA empleadas, hay dos tipos de ciclos :

26 multitramas TDMA para canales TCH, SACCH y FACCH.

51 multitramas TDMA, para canales BCCH, CCCH, SDCCH y SACCH.

Para simplificar la figura, se ha incluido solamente el ciclo para el canal de transmisión (TCH).

El canal SACCH que envía información acerca de la transmisión, es usado tanto en modo activo (ciclos de 26 multitramas, durante la conversación) como en modo libre (explorando nuevas celdas, ciclos de 51 multitramas). De esta forma se asegura que el uso de la energía sea eficiente en todo momento y que no existan caídas de la señal aún cuando se está hablando.

### 3.6 GPRS System

GPRS es el acrónimo de "General Packet Radio Service". El GPRS es un servicio de valor añadido que permite enviar y recibir información utilizando una red de telefonía móvil. El GPRS no está relacionado con el GPS (Global Positioning System), un acrónimo que también se utiliza en el mundo de los móviles. El GPRS tiene algunas particularidades que resumiremos a continuación.

- **Velocidad**-. Teóricamente la velocidad máxima es de 171,2 Kilobits por segundo (K.BPS), esta velocidad se consigue utilizando a la vez los 8 timeslots. Esta velocidad es 3 veces superior a la que podemos alcanzar con las redes fijas actuales y 10 veces más rápido que el GSM actual.
- **Inmediatez**: GPRS facilita las conexiones instantáneas tan pronto como se necesita enviar o recibir información. Podríamos decir que con GPRS siempre estamos conectados.
- **Nuevas aplicaciones, mejores aplicaciones**: debido a la mayor velocidad del GPRS, los desarrolladores de aplicaciones pueden mejorar las aplicaciones actuales y desarrollar nuevas aplicaciones.
- **Acceso a los servicios**: para poder utilizar GPRS se necesita: un teléfono que soporte GPRS (los teléfonos actuales GSM no soportan GPRS), abonarse a un operador que tenga una red GPRS y que el operador nos permita el libre acceso a su red GPRS.

Incorporando GPRS a la red GSM, los operadores pueden ofrecer un eficiente acceso a redes externas basadas en IP, tales como Internet y las intranets corporativas. Lo que es más, los operadores pueden sacar partido del acelerado paso que lleva el desarrollo de los servicios en el mundo de Internet, ofreciendo sus propios servicios basados en IP usando el portador IP de GPRS, elevando así el listón del valor de Internet y aumentando su rentabilidad.

Los usuarios finales pueden seguir conectados indefinidamente a la red externa y disfrutar de velocidades de transferencia instantánea de hasta 115 Kbit/s. Los usuarios que no estén realmente enviando o recibiendo paquetes ocupan solamente una cantidad despreciable de los recursos críticos de la red. Por lo tanto, se espera que nuevos esquemas de tarificación reflejen el uso de la red en vez del tiempo de conexión.

La implementación de GPRS permite un rápido despliegue, en tanto que los costes de entrada se mantienen bajos - los dos nuevos nodos que se

añaden a la red pueden ser combinados y desplegados en un punto central de la red. El resto de la red GSM solamente requiere una actualización del software, aparte del BSC, que requiere nuevo hardware.

Los servicios generales de paquetes por radio (General Packet Radio Service - GPRS) son un estándar del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (European Industry Telecommunications Standards Institute - ETSI) sobre paquetes de datos en sistemas GSM. GPRS ha sido también aceptado por la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (Telecommunications Industry Association - TIA) como el estándar de paquetes de datos para sistemas TDMA. Añadiendo la funcionalidad de GPRS a la red terrestre móvil pública (Public Land Mobile Network - PLMN), los operadores pueden dar a sus abonados un acceso con eficientes recursos a las redes externas basadas en el protocolo de Internet (IP). También se pueden enviar Servicios de mensajes cortos (Short Message Service - SMS) y servicio de Mensaje Multimedia (MSM) usando la red GPRS. Además, se han definido diferentes clases de calidad de servicio (Quality of Service - QoS) también conocido como Grado de Servicio, para el servicio de GPRS el terminal y la red negocian y se ponen de acuerdo sobre qué clase es aplicable.

GPRS ofrece velocidades de transferencia de interfaz aérea de hasta 115 kbit/s sujeta a las posibilidades del terminal móvil y a la interferencia de la portadora. Es más, GPRS permite que varios usuarios compartan los mismos recursos de interfaz aérea y permite también a los operadores basar la tarificación en la cantidad de datos transferidos en vez de en el tiempo de conexión.

GPRS introduce dos nuevos nodos en la red de GSM para gestionar el tráfico de paquetes:

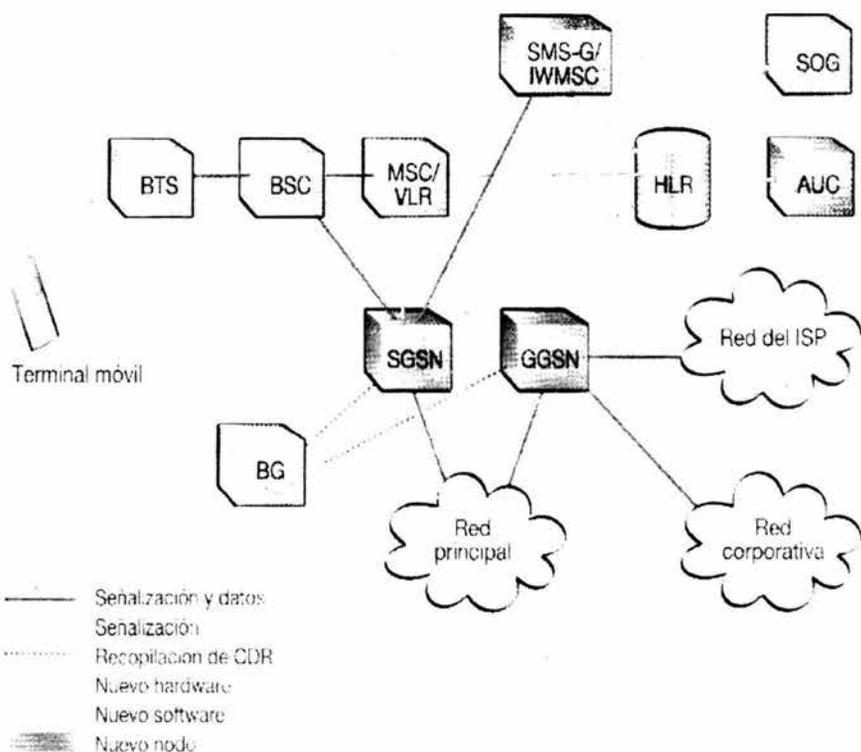
- El nodo de soporte servidor de GPRS (SGSN)
- El nodo de soporte pasarela de GPRS (GGSN)

Estos nodos interfuncionan con el registro de posiciones base (Home Location Register HLR), el centro de conmutación móvil / registro base del visitante (Mobile Switching Center/Visitor Location Register - MSC/VLR) y los subsistemas de la estación base (Base Station Subsystems - BSS).

El GGSN, que es el punto de interconexión para las redes de paquetes de datos, está conecta al SGSN mediante una red principal IP. Los datos

de usuario por ejemplo, desde un terminal GPRS a Internet - se envían encapsulados por la red principal IP.

A su vez, el SGSN está conectado a la BSS y reside en el mismo nivel jerárquico en la red que el MSC/VLR. Mantiene un registro de la ubicación del usuario de GPRS, lleva a cabo funciones de seguridad y gestiona el control de acceso, es decir, que en gran medida hace por el servicio de paquetes de datos lo que hace el MSC/VLR por el servicio de conmutación de circuitos.



En el estándar GPRS, han sido definidos tres nuevos tipos de terminal móvil:

- Terminal Clase A, que soporta el tráfico simultáneo de conmutación de circuitos y de conmutación de paquetes;
- Terminal Clase B, que soporta tráfico o bien de conmutación de circuitos o bien de conmutación de paquetes (conexión simultánea a la red) pero no soporta ambos tipos de tráfico simultáneamente; y
- Terminal Clase C, que se conecta o bien como terminal de conmutación de paquetes o bien como terminal de conmutación de circuitos



Los tipos de terminales se diferencian además por su capacidad para gestionar la operación multi-intervalos.

Ya que los terminales clase A y clase B soportan tanto tráfico de conmutación de circuitos como conmutación de paquetes, la red puede combinar la gestión de la movilidad. Por ejemplo, las actualizaciones de la ubicación pueden incluir información relativa a ambos servicios.

Los paquetes de datos de usuario son segmentados, codificados y transformados en bloques de radio. Cada bloque de radio se entrelaza después en cuatro ráfagas normales estándar de GSM, esto es, en el mismo vehículo básico que transporta voz codificada en circuitos conmutados por la interfaz aérea.

Cuando se producen errores, los paquetes de datos pueden ser retransmitidos al nivel de bloque de radio. El conjunto de ráfagas que resulta de un solo paquete de datos de usuario se marca con un identificador temporal de flujo (Temporary Flow Identifier - TFI), que se usa en los extremos de recepción para volver a ensamblar el paquete de datos del usuario.

Se ha definido un nuevo juego de canales lógicos para el tráfico de GPRS. Este conjunto incluye canales de control y canales de tráfico de paquetes de datos. Un canal físico asignado para tráfico de GPRS se denomina un canal de paquete de datos (Packet Data Channel - PDCH).

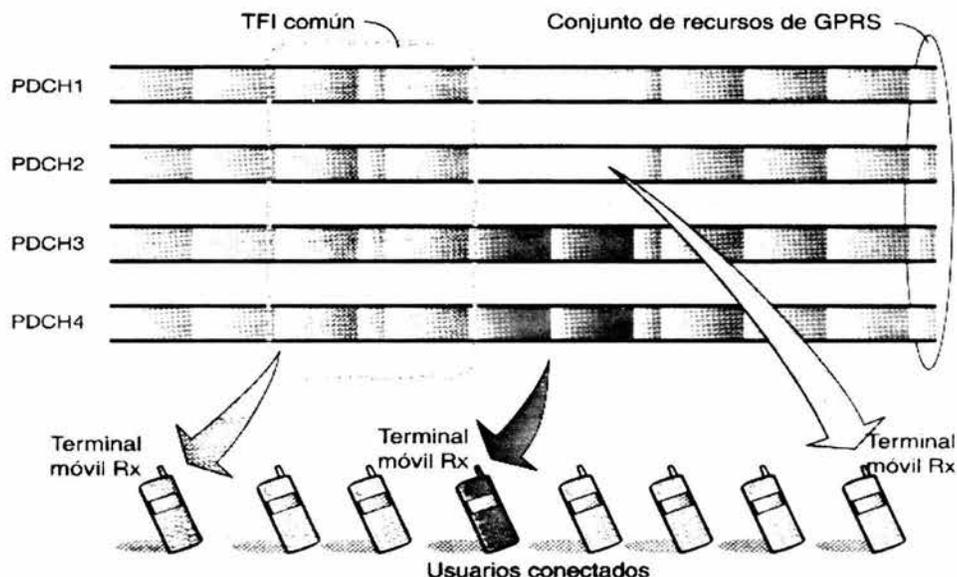
Uno o más canales físicos en una célula pueden ser asignados estática o dinámicamente para PDCHs. Siempre hay PDCHs estáticos disponibles, mientras que los PDCHs dinámicos son proporcionados caso por caso.

El PDCH consta de un patrón de 52 multitramas que corre en intervalos de tiempo asignados a GPRS. Este es básicamente un patrón predefinido de canales de control de GPRS y canales de tráfico de datos que se repite.

Si no hay canales de control de GPRS disponibles, se pueden usar canales de control de conmutación de circuitos para iniciar GPRS.

Ciertos procedimientos de gestión de movilidad de conmutación de circuitos pueden usar también canales de control de GPRS (por ejemplo, para actualizar la ubicación)

Varios terminales móviles pueden compartir dinámicamente el conjunto de canales de paquetes de datos de una célula, y se pueden usar varios PDCHs simultáneamente para una sola conexión. Por lo tanto, un paquete de datos de usuario puede ser transmitido por múltiples canales de paquetes de datos y reensamblando en el otro extremo.



El lado de la red controla la asignación de recursos. Para poner en marcha transmisión de paquetes en el enlace de transmisión, el terminal móvil pide recursos. La red le dice al terminal qué PDCHs debe usar. La red envía también un valor de indicación, cuando este se produce en enlace de recepción correspondiente, le dice al terminal móvil que empiece a transmitir.

Para poner en marcha la transmisión de paquetes en enlace de recepción, la red envía un mensaje de asignación al terminal móvil, indicando qué PDCHs serán usados y el valor del TFI asignado a la transferencia. El terminal móvil monitoriza los PDCHs del enlace de recepción e identifica sus paquetes mediante el TFI.

A pesar del salto que esta tecnología representa en términos de velocidad y capacidad, las limitaciones existentes con relación a la red impiden que las velocidades máximas puedan ser alcanzadas. El modo de funcionamiento del sistema GSM divide las frecuencias disponibles en "timeslots" (espacios de tiempo), atribuyendo esos espacios a llamadas telefónicas. Esto permite que cada frecuencia pueda transportar varios canales de datos. Para atender el límite máximo de 172.2 Kbps sería

necesario que las operadoras destinasen todos los recursos para una única llamada GPRS (atribuyéndole los ocho "timeslots").

Además de ser improbable de acontecer, los primeros terminales GPRS deberán estar limitados en el número de "timeslots" que pueden soportar. Al mismo tiempo, las llamadas de GPRS y de voz utilizan los mismos recursos de red, lo que significa que un canal que esté transmitiendo datos no podrá ser utilizado para una llamada telefónica normal.

El resultado práctico será que, inicialmente, las velocidades deberán rondar los 28 Kbps, e irán subiendo a medida que las operadoras y fabricantes procedan a mejoras en la red y en los terminales y proporcionen más "timeslots".

Pero existe otra tecnología en investigación que permitirá a los sistemas de Internet móvil darle al pedal del acelerador: el EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution). El EDGE fue anunciado como una solución final para el GSM con relación a los datos, estando siendo proyectada para ser utilizado en conjunción con el GPRS. Es un sistema de alta velocidad que permitirá triplicar los valores de transmisión de datos antiguos con el GPRS.

Una cuestión que se coloca es la denominada información no solicitada. Los utilizadores de Internet reciben frecuentemente datos que no han pedido, tales como anuncios no solicitados y de remitentes no identificados. Estas situaciones pueden suceder en un terminal GPRS y pueden crear situaciones en que la operadora no tiene manera de cobrar la transmisión de información por no conocer el remitente, o el destinatario podrá tener que pagar por información que no pidió y que no le interesa. El problema ya hizo que los fabricantes considerasen la hipótesis de los primeros terminales no pudieren recibir llamadas GPRS, tan solo efectuarlas, lo que limitaría las ventajas que el sistema podría traer.

El protocolo IP tiene inherente una otra cuestión: el factor de los paquetes que viajan separados, utilizando caminos diferentes, puede proporcionar que los mismos se pierdan o se dañen por el camino. A pesar del protocolo IP y el GPRS previeren estos problemas y aplicaren estrategias de retransmisión y de integridad de los paquetes, pueden darse demoras y lapsos en la recepción de la información.

Una posibilidad ya anunciada es la de utilizar el móvil como MODEM para un ordenador de mano con acceso a Internet, a través de una conexión de infrarrojos o Bluetooth. No obstante, las limitaciones físicas

Gracias al GPRS podemos hablar de una Internet móvil de verdad, ya que el GPRS permite una total conexión con los servicios actuales de Internet como el FTP, el Chat, el correo electrónico navegar por Internet, intranet. Lo que permite a muchos operadores convertirse en proveedores de contenidos para una nueva Internet móvil.

Internet se esta convirtiendo en el primer medio de comunicación, la gente accede a Internet para divertirse, recoger información. Las empresas utilizan intranets para acceder a datos de la empresa o contactar con compañeros de empresa y usan Internet para contactar con clientes y proveedores.

Cada vez mas gente esta utilizando agendas situadas en portales de Internet para organizar sus tareas, así que poder navegar desde un teléfono móvil, es algo muy importante y eso es posible con un móvil compatible con GPRS.



## Capítulo 4

### Planificación Celular de Tercera Generación.

#### 4.1 Introducción a la Planeación Celular

Planeación celular puede ser descrita brevemente como todas las actividades envueltas en determinar cual sitio puede ser utilizado por el equipo de radio, cual equipo de puede ser usado y como puede ser configurado.

En un orden seguro y para evitar interferencias, cada red celular necesita planearse. La mayor actividad que implica dentro del proceso de planeación celular se representa en la siguiente figura:

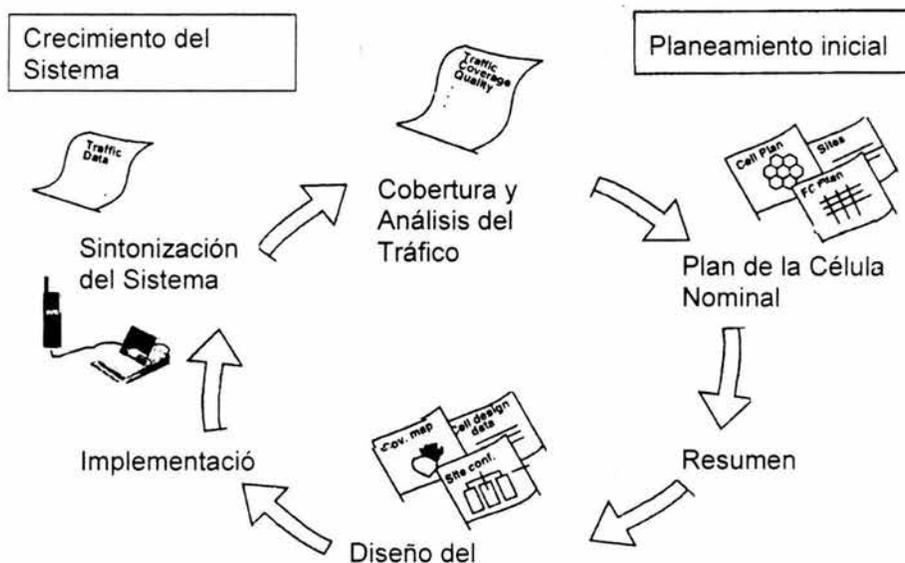


Figura 1 – 1 Proceso del planeamiento de una célula

#### Análisis de Tráfico y Cobertura (requerimientos de sistema).

El proceso de la planeación celular empieza con el análisis de tráfico y cobertura. El análisis tiene que producir información acerca del área geográfica y una expectativa de las necesidades de capacidad. Los tipos de datos colectados son:

- Costo.
- Capacidad.
- Cobertura.
- Grado de Servicio (GoS).
- Frecuencias disponibles.
- Índice de calidad de voz.
- Capacidad de crecimiento del sistema.

La demanda de tráfico (por ejemplo, ahora muchos suscriptores pueden ocupar el sistema y mucho tráfico puede ser generado) proveer los fundamentos para la ingeniería de la red celular. Geográficamente distribuye el tráfico necesario que puede ser estimado para usar datos demográficos seguros como:

- Distribución popular.
- Distribución de uso de automóvil.
- Nivel de distribución de ingresos.
- Datos usados en el país.
- Estadísticas de los teléfonos usados.
- Otros factores como el cargo al suscriptor, cargo de llamadas y el precio de las estaciones móviles.

### **Plan Celular Nominal.**

Sobre la compilación de los datos recibidos del análisis de tráfico y cobertura, una planeación de la red celular nominal debe ser elaborada, una red celular nominal es establecida como una representación geográfica de la red y simplemente se puede ver el diseño de una red en un mapa.

Los planes de una red celular nominal es lo primero que se hace en una planeación celular como fundamento de una futura planeación

### **Mediciones de Radios y Geografía del sitio.**

Luego las mediciones de los radios son revisadas para verificar las predicciones de la cobertura e interferencias. El sitio donde el equipo de radio donde va a ser colocado tiene que ser visitado. Este es un paso crítico por que esto es necesario para valorar el medio ambiente real para determinar si la localización del sitio es apropiado para que se planee una red celular.

### **Plan celular final, Diseño del sistema.**

Una vez que se tenga optimizado y sean ciertas las predicciones generadas por la herramienta de diseño, se hace un dimensionamiento del equipo de RBS, BSC y MSC como su nombre lo indica este plan es usado después la instalación del sistema.

En complemento, un documento llamado Datos del Diseño Celular (CCD) es llenado con los datos de salida de todos los parámetros celulares de cada célula.

### **Implementación.**

Se planea la instalación y se prueba para verificar la planeación celular final y el diseño del sistema.

### **Sistema de Sintonización.**

Después de que el sistema es instalado, este es continuamente evaluado para determinar que tan bueno es para la demanda de tráfico. Este es llamado el Sistema de Sintonización, este involucra:

- Checar que el plan celular final es implementado completamente.
- Evaluar las reclamaciones del consumidor.
- Checar que la red entera es aceptable.
- Cargar los parámetros y hacer otras mediciones (si es necesario).

El sistema necesita constantemente sintonizarlo antes de que el número de tráfico y usuarios incrementen continuamente. Eventualmente, el sistema alcanza un punto donde este será expandido para que este pueda incrementar el número de tráfico.

## **4.2 Dimensionamiento de Tráfico y Canales**

La capacidad del sistema celular depende de un número de diferentes factores, estos incluyen:

- Número de canales disponibles para voz y/o datos.
- El grado de servicio, los subscriptores son encontrados en el sistema.

La teoría del tráfico tentativo para obtener una estimación completa, por ejemplo, el número de canales necesarios en una célula. Estas estimaciones dependen del sistema seleccionado y asumiendo el valor real de los subscriptores.

¿Qué es tráfico? Tráfico se refiere al canal usado y es usualmente pensado de cómo tomado la unidad de tiempo por tiempo (ó el número de "horas llamada" por hora) de uno o varios circuitos

¿Cuánto tráfico puede una célula tomar? Esto depende del número de canales de tráfico disponibles y una probabilidad aceptable que el sistema se pueda congestionar, también se le llama grado de servicio (GoS)

Usando el número de abonados determinados, el tráfico se mide en Erlangs (nombrado así en honor del matemático danés A. K. Erlang). Un Erlang es un circuito de voz ocupado en una hora. Es la cantidad de tiempo que un abonado mantiene un circuito ocupado con otro abonado para voz o datos. Los promedios se usan para predecir la demanda de tráfico. El tráfico por abonado se determina a partir del promedio de llamadas y la duración promedio de una llamada. Los Erlangs por abonado se miden generalmente durante una hora pico. Una tabla B de Erlang se usa para determinar el número de dispositivos necesarios para soportar una cantidad específica de tráfico con una cantidad específica de intentos de llamada.

### **CALCULO DE TRÁFICO.**

La formula para calcular la cantidad de tráfico ofrecida por un suscriptor es:

$$A = \frac{(n * T)}{3600}$$

Donde:

- T = Promedio de tiempo de llamada en segundos.
- N = El número de veces de tiempos por hora que un abonado hará una llamada.
- 3600 = Número de segundos en una hora.
- A = Trafico ofrecido de un usuario en el sistema.

Dada la cantidad de tráfico ofrecida por un suscriptor. El total de tráfico para el sistema puede ser calculado multiplicando el tráfico de usuario individual por el número total de abonados.

El GOS es la base que se usa para expresar la probabilidad de que una llamada se perderá debido a la congestión del conmutador. El GOS se puede expresar por el cliente como un porcentaje de intentos de llamada (2% de llamadas bloqueadas) o como una confiabilidad de la red (98% de confiabilidad).

Este es referido como un "sistema perdido". La tabla de Erlang's B indica el número de canales de tráfico, el GOS, y el tráfico ofrecido. Asumiendo que una célula tiene dos medios de transporte, correspondiendo típicamente a  $2 \times 8 - 2 = 14$  canales de tráfico y un GOS de 2 % es aceptable, el tráfico que puede ser ofrecido es  $A = 8.20 E$ .

Este número es interesante si un estimado de tráfico de cobertura por suscriptor puede ser obtenido. Estudios del tráfico de cobertura por suscriptor durante una hora pico es típicamente 15 - 20 mE (este puede responder a una llamada por ejemplo, una llamada que dura entre 54 - 72 segundos por hora). Dividiendo el tráfico que una célula puede ofrecer,  $A_{cell} = 8.20 E$ , el número de suscriptores que una célula puede soportar es derivado como  $8.20 / 0.025 = 328$  suscriptores.

El dimensionamiento de la red implica tener datos demográficos para determinar el tamaño de las células. El procedimiento por ejemplo es simplificado, todavía, este provee un entendimiento de que necesitamos para el cálculo y dimensionamiento de tráfico.

El problema puede ser que un gran número de suscriptores en un área en particular, por ejemplo, el aeropuerto, cuantos canales podemos necesitar para soportar el tráfico de una sola célula que es usada. Dimensionando la red podemos mantener un control fijo de la célula y en ningún caso estimar el número de canales necesarios para cada célula. En complemento el tráfico no es constante. Este varía entre el día y la noche, diferentes días y de varios otros factores. La telefonía móvil implica movilidad y los suscriptores pueden moverse de un área a otra durante el curso del día.

### 4.2.1 Utilización de canales.

Asumiendo que se puede encontrar el número necesario de canales de tráfico de una célula para servir a usuarios o subscriptores con un tráfico de 33 E. y el GOS durante la hora pico no debe excederse de 2%, considerando estos requerimientos y consultando la tabla de Erlang B encontramos el número de canales que necesitamos.

|          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| <b>n</b> | .007   | .008   | .009   | .01    | .02    | .03    | .05    | .1     | .2     | .4     | <b>n</b> |
| 43       | 30.734 | 31.069 | 31.374 | 31.656 | 33.758 | 35.253 | 37.565 | 42.011 | 49.851 | 69.342 | 43       |

Suponiendo que 5 células son diseñadas para cubrir alguna área como una simple célula. Estas cinco células tienen que tener la misma cantidad de tráfico que la célula arriba mencionada, 33 E. Con un aceptable GOS fijo del 2%. Primero, el tráfico total es dividido entre las células. La distribución del tráfico entre varias células resulta en una necesidad de más canales que tomen todo el tráfico para ser concentrado en una sola célula.

| <b>Célula</b> | <b>Trafico (%)</b> | <b>Trafico (E)</b> | <b>Número de canales</b> | <b>Utilización de canal (%)</b> |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------|
| A             | 40                 | 13.20              | 21                       | 62                              |
| B             | 25                 | 8.25               | 15                       | 55                              |
| C             | 15                 | 4.95               | 10                       | 49                              |
| D             | 10                 | 3.30               | 8                        | 41                              |
| E             | 10                 | 3.30               | 8                        | 41                              |
| $\Sigma$      | 100                | 33.00              | 62                       | 53                              |

Esta ilustración se aprecia que es más eficiente usar muchos canales en una célula grande que viceversa. Para calcular la utilización de los canales, el tráfico ofrecido es reducido por el GOS de 2% (rendimiento del tráfico obtenido) y dividiendo este valor por el número de canales (rendimiento del canal utilizado).

Con 43 canales, la utilización del canal es de  $33.083 / 43 = 77\%$ , es decir el canal es usado aproximadamente 77% del tiempo. Todavía, para partir esta célula en células pequeñas, más canales de tráfico son requeridos y hace que el canal utilizado decremente.

## 4.3 Datos de la Interface Aérea

A continuación se verán algunos datos de la interfaz aérea más importantes para GSM 900, GSM 1800, y GSM 1900.

### EL ESPECTRO DE FRECUENCIA.

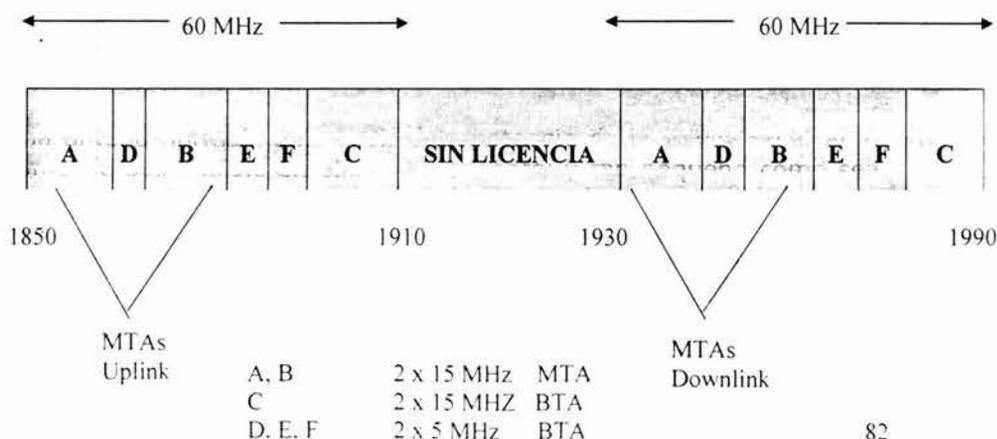
Diferentes bandas de frecuencias son usadas para GSM 900, 1 800, y 1900. En algunos países, los operadores solicitan las frecuencias disponibles. En otros países por ejemplo, los Estados Unidos, los operadores compran las bandas de frecuencia a las subastas.

En diciembre de 1994, la Federal Communications Commission (FCC) subastó las licencias de "broadband" a operadores probables que ofrecen los servicios de comunicaciones personales. Cada operador posee los derechos y licencias para un período de diez años. En México es dividido en 9 regiones o Major Trading Areas (MTA) es decir una Gran área comercial y 493 Elementos de Áreas Comerciales (BTA). Un MTA puede ser geográficamente tan grande como un estado, mientras un BTA puede compararse con en el tamaño a una ciudad grande. Se diseñan BTAs para el uso en las áreas metropolitanas mayores.

La FCC ha especificado el rango de frecuencia y la potencia de rendimiento.

La banda de Frecuencia es dividido en seis bloques de frecuencia: tres bloques dúplex A, B y C (90 MHz de ancho de banda del espectro total) y otros tres bloques dúplex, D, E y F (30 MHz espectro total del ancho de banda).

Asignación del espectro para GSM 1900 en México  
140 MHz para GSM 1900 (120 MHz autorizado y 20 MHz ilícito)



## DISTANCIA DÚPLEX

La distancia entre el Uplink y las frecuencias del Downlink es conocido como distancia dúplex. La distancia dúplex es diferente para los diferentes tipos de banda de frecuencia.

En esta tabla se muestran las diferencias de la distancia Dúplex para las bandas de frecuencias de GSM:

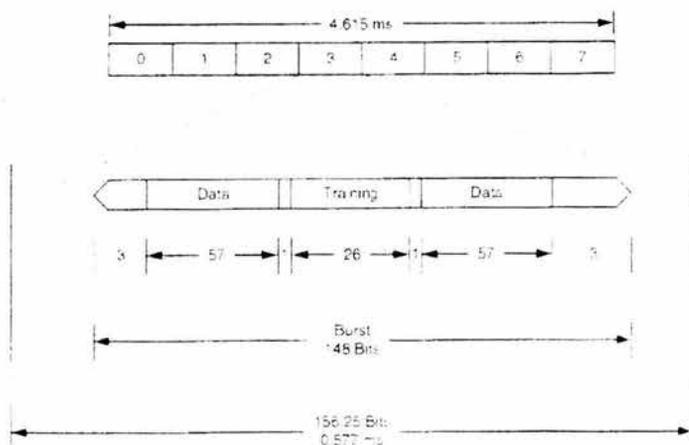
| <b>Estándar</b>         | <i>GSM 900</i> | <i>GSM 1800</i> | <i>GSM 1900</i> |
|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Distancia Dúplex</b> | 45 MHz         | 95 MHz          | 80 MHz          |

## SEPARACIÓN DE CANALES

La distancia entre las frecuencias adyacentes en el Uplink o el Downlink es llamado canal de separación. El canal de separación es de 200 KHz. Esta separación es necesaria para reducir las interferencias de una portadora de otra frecuencia vecina.

## MÉTODO DE ACCESO Y RADIO DE LA TRANSMISIÓN

GSM maneja el concepto de acceso por TDMA. En GSM, hay ocho Timeslots. Cada timeslots es de 0.577 ms y tienen un bloque de 156.25 bits (148 bits de información y 8.25 bits en un periodo de guarda) teniendo un radio de bit en la interface aérea de 270.8 kbits.



Estructura básica de TDMA, timeslot, y estructuras de la ráfaga

### 4.3.1 Plan Celular Nominal

El diseño de una red celular abarca todo el trabajo que exige diseñar una red celular. Durante la fase inicial de un plan del sistema, los requisitos del sistema son reunidos y analizados. Estos incluyen el costo, la capacidad, GoS, la calidad de la voz y la capacidad de crecimiento de sistema. Cuando la fase de requisito de sistema está completa, este es el tiempo para preparar el plan celular nominal. Este plan cubre la distribución (la locación) y configuración de las Radio Bases y es basada en los requisitos del sistema. El plan nominal debe verificarse después para que este sea el mejor posible. Una vez que el diseño del sistema fue implementado, continúa de trabajo de planificación celular usando los datos de la red existente.



### 4.3.2 ONDAS DE RADIO

Hay muchos tipos de ondas electromagnéticas aparentemente. Estas incluyen las ondas radiofónicas, rayos infrarrojos, luz, rayos x, y los rayos gamma entre otros. Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética. Estas son típicamente generadas como perturbaciones mandadas al espacio como cargas oscilantes o en una antena transmitiendo.

Otros tipos de radiación electromagnética son causados por el intenso calor, reacciones atómicas, y emisiones estimuladas (el láser).

Conociendo su origen, una onda electromagnética se comprende de oscilaciones eléctricas y magnéticas. Para el viaje de una onda plana, los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares a nosotros y también a la dirección de propagación. Las ondas se pueden describir por una simple función sinusoidal y se caracteriza convenientemente por su longitud de onda  $\lambda$  (la longitud de un ciclo de oscilación), o equivalentemente con su frecuencia  $f$ . Los dos están relacionados con la velocidad de propagación,  $c$ , como:

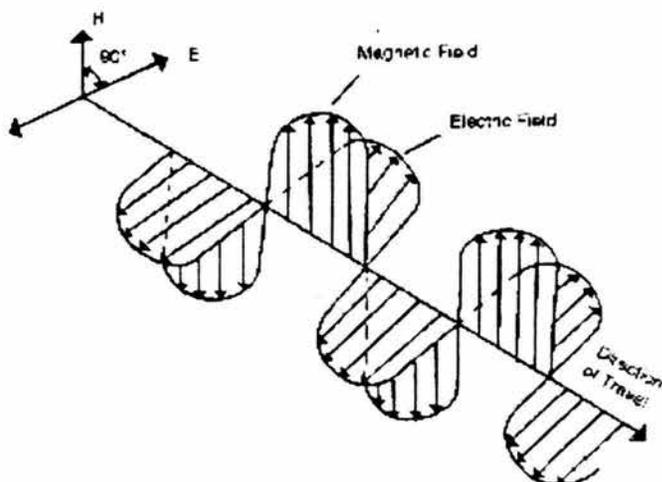
$$\lambda \times f = c$$

Donde:

$\lambda$  = la longitud de onda en el metros por ciclo

$f$  = la frecuencia en ciclos por segundo (o hertz)

$c$  = la velocidad de luz, una constante aproximadamente igual a 3.108 metros /segundo para las ondas electromagnéticas.



Las propiedades de la propagación tienen diferentes espectros de frecuencia. Las Radio Ondas tienen en el espectro de la frecuencia entre 3 Hz y 3000 GHz. Esta parte del espectro es dividida en doce bandas. Sólo la Frecuencia Ultra Alta (UHF) es considerada, por las propiedades de ondas de UHF y locaciones de frecuencia que ha hecho este la telefonía móvil.

Espectro de Frecuencia de las Bandas.

| FRECUENCIA      | CLASIFICACIÓN                  | DESIGNACIÓN |
|-----------------|--------------------------------|-------------|
| 3 – 30 Hz       |                                |             |
| 30 – 300 Hz     | Extremadamente Baja Frecuencia | ELF         |
| 300 – 3000 Hz   | Frecuencia de la voz           | VF          |
| 3 – 30 KHz.     | Muy Baja Frecuencia            | VLF         |
| 30 – 300 KHz.   | Baja Frecuencia                | LF          |
| 300 – 3000 KHz. | Frecuencia Media               | MF          |
| 3 – 30 MHz      | Alta Frecuencia                | HF          |
| 30 – 300 MHz    | Muy Alta Frecuencia            | VHF         |
| 300 – 3000 MHz  | Ultra Alta Frecuencia          | UHF         |
| 3 – 30 GHz      | Súper Alta Frecuencia          | SHF         |
| 30 – 300 GHz    | Extremadamente Alta Frecuencia | EHF         |
| 300 – 3000 GHz  |                                |             |

### 4.3.3 Tipos de Antenas

Una antena actúa como la interfaz entre la Radio Base y el aire. Una señal de la Radio base o BTS se radiará en una dirección definida por la antena. La antena recibirá todas las señales del radio al mismo tiempo de la misma dirección a través de la Radio Base hacia otra BTS o Radio Base.

La configuración más común ha sido usar una antena para transmitir y dos antenas para recibir. Un sitio de tres sectores necesitaría nueve antenas entonces, el número creciente de sitios dentro de una red móvil está forzando al número de antenas por cada célula.

Con la diversidad de la polarización, las dos antenas de la recepción pueden ser organizadas en la misma unidad de la antena física.

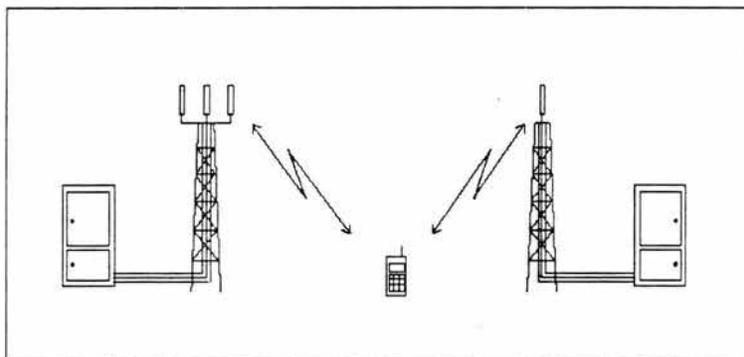


Figura Las primera BTS o Radio base usa separando la antena transmisora (TX) y la antena receptora (RX), mientras la segunda usa una antena combinada sin diversidad.

### Terminología de la antena

#### Tipos de antenas (Omni - Sector).

Se usan dos tipos de antenas en los sistemas celulares, omni-direccional y Antenas direccionales (sectoriales).

Una antena omni-direccional radia igualmente en el plano horizontal ( $360^\circ$ ) mientras una antena direccional sólo radia en una cierta dirección (sector).

La única diferencia entre un omni-célula y un sector-célula es el tipo de la antena, no el tipo de BTS o Radio Base.

Un sitio contiene cualquiera de los dos: omni-célula o uno, dos o tres sectores de célula.

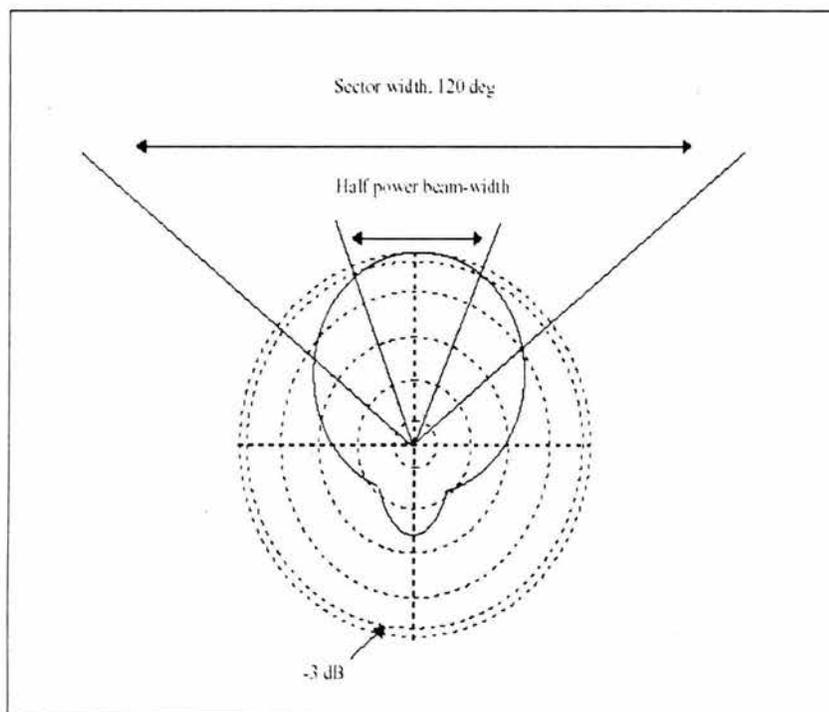
#### 4.3.4 Modelo de Radiación

Una antena normalmente radiará la potencia de la Radio Base tanto como le sea posible en el plano horizontal y tan pequeño como sea posible en el plano vertical.

Esto se puede ver en el patrón de la radiación Siempre se presenta en el plano horizontal pero también puede mostrarse en el plano vertical.

Una antena es un componente pasivo. Un incremento de radiación en una dirección lo reducirá en otra.

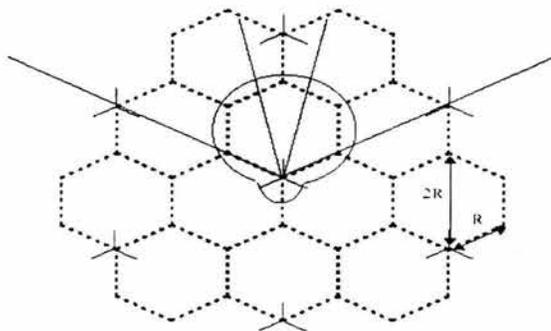
En la figura, se muestra una antena direccional con dos lóbulos (radiación máxima). El lóbulo principal en la dirección delantera y debe aumentarse al máximo y el lóbulo atrasado se minimiza.



Se configuran a menudo los sitios con tres células donde cada célula representa 120° de sector. Esta anchura del sector no es igual que el ancho de banda de la potencia (-3 dB) para la antena usada como la mostrada en la figura anterior.

Una antena de 65° con media potencia de ancho de banda usa a menudo 120° del sector.

La siguiente figura muestra un modelo de radiación encima de un hexágono. La distancia del sitio a la frontera celular a lo largo de la línea de 120° es la mitad la distancia del sitio a la frontera celular en la dirección delantera ("R" comparada con "2R").



Patrón de radiación en un Hexágono

Como la antena sólo necesita cubrir una distancia media a lo largo de  $120^\circ$  necesita 10 dB menos de ganancia en esa dirección.<sup>5</sup> Esto significa que un sitio de tres sectores necesita las antenas con un -10 dB de ancho de banda de  $120^\circ$ . Una antena normalmente tiene un -3 dB de ancho de banda de  $60^\circ$  -  $65^\circ$  (este valor lo especifica el fabricante).

### • ganancia de la antena (el dBi - el dBd).

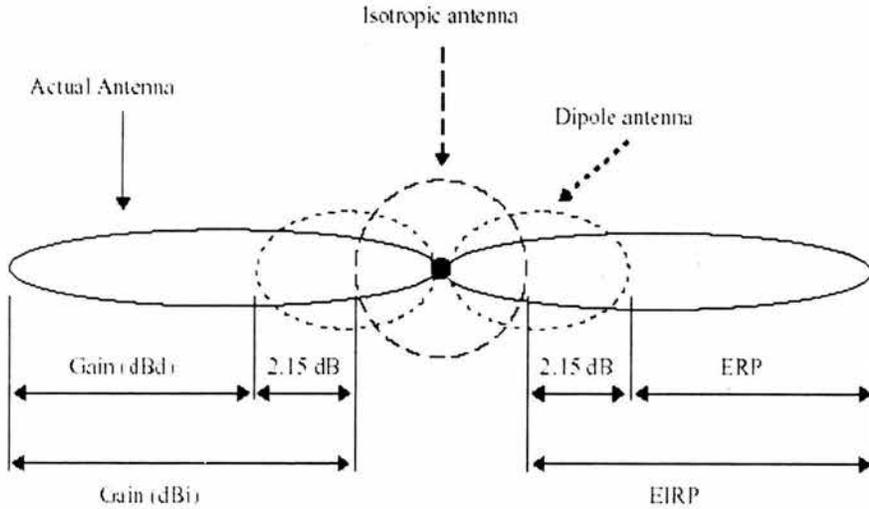
La ganancia de la antena es una medida relativa, y la referencia puede ser una antena isotropica o una antena del dipolo.

Cuando la antena de interés se compara con la radiación de una antena isotropica, el dBi de la unidad es usado. La antena isotropica es una antena teórica con radiaciones igual en todas las direcciones.

dBd se usa cuando la antena de la referencia es una antena dipolo. Una antena dipolo es una antena común. Un dipolo tiene 2.15 dB la ganancia más alta en el plano horizontal que la antena isotropica.

La fórmula es:

$$\text{Ganancia ( dBi )} = \text{Ganancia ( dBd )} + 2.15 \text{ dB}$$

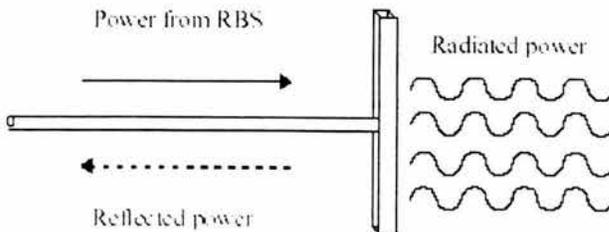


## VSWR

El valor de Proporción de Voltaje de la Onda de Radio, indica que la impedancia de la antena se empareja a la impedancia del alimentador.

Un valor alto del VSWR significa que la potencia de salida de la BTS o Radio Base es reflejado y regresa al transmisor de la antena. La consecuencia será una radiación baja de la antena y más probablemente un mal desempeño del transmisor de la Estación Base.

El VSWR debe estar cercano a 1 tanto como le sea posible.



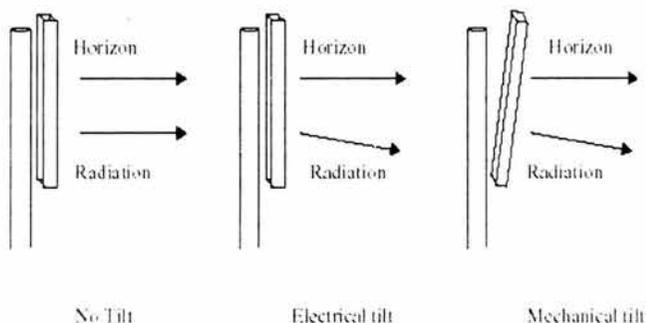
### 4.3.5 Inclinación de las Antenas

La inclinación es una manera de reducir una cobertura excesiva y reducir la interferencia de los sitios con las antenas en posiciones altas para bajar el centro de la radiación algunos grados debajo del horizonte. Normalmente la inclinación se usa en situaciones cuando las antenas son altas o en las ciudades. Normalmente el ángulo de inclinación está entre los  $0^\circ$  y  $10^\circ$ . Aunque en la ciudad de México se usa a  $25^\circ$ .

La inclinación mecánica se logra ajustando la alineación de la antena con el número de grados necesarios. Da una flexibilidad para inclinar por la base celular. Sólo antenas direccionales pueden inclinarse mecánicamente.

La inclinación eléctrica es una manera alternativa de inclinar las antenas. Ésta es una función incorporada con un ángulo de inclinación fijo, el ángulo tiene que ser especificado al poner las antenas.

Ambos métodos de inclinación son comunes en las redes móviles. Los dos métodos pueden combinarse.



### 4.3.6 Generación de Ondas de Radio

Las altas frecuencias de las ondas de radio son típicamente generadas por cargas oscilantes en la transmisión de una antena. En el caso de una radio base, la antena es a menudo un simple alambre largo (un dipolo) alimentado por un medio de voltajes y corrientes por ejemplo, las cargas son puestas en la antena para variar el voltaje. Nosotros podemos pensar en el campo eléctrico como

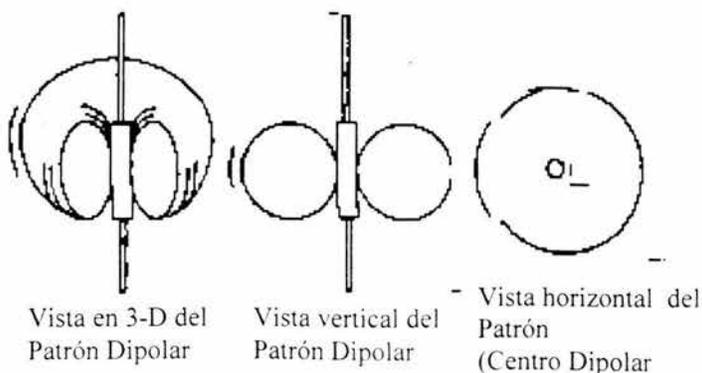
perturbaciones mandadas por el dipolo y la frecuencia del campo eléctrico oscilante (las ondas electromagnéticas)

Cada antena tiene un patrón de radiación único. Este patrón puede representarse gráficamente por los trazados que se reciben, tiempo-cobertura de la potencia, como una función de ángulo con respecto a la dirección de la máxima potencia en un diagrama logarítmico-polar. El patrón es representativo de las antenas en una prueba del medio. Sin embargo, esto solo aplica en un medio del espacio libre. El patrón se vuelve más complejo a los factores la propagación en la realidad. Así, la efectividad real de cualquier antena es medida en el campo.

Una antena isotropica, es una antena completamente no-direccional que radia igualmente en todas direcciones. Las características de las antenas exhiben algún grado de directividad, la antena isotropica sólo existe como un concepto matemático. La antena isotropica puede ser usada como una referencia para especificar la ganancia de una antena practica. La ganancia de una antena isotropica es el radio entre la potencia requerida en una antena práctica y la potencia requerida en una antena isotropica para lograr la misma fuerza del campo en la dirección deseada de la antena práctica. Directamente la ganancia respecto a una antena isotropica se expresa en unidades de "dBi."

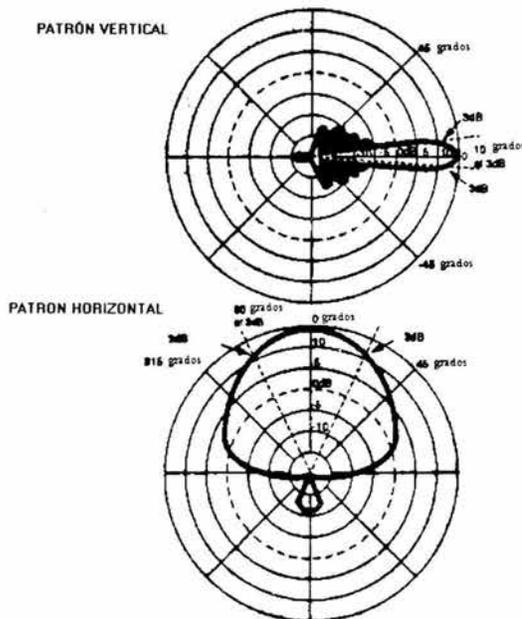
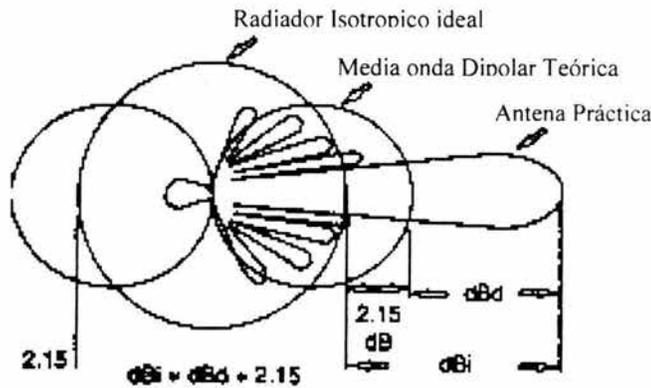
Una media onda de una antena dipolo también puede usarse como una referencia de ganancia para las antenas practicas. La media onda de un dipolo es conductor recto cortado a la mitad de la longitud de onda eléctrica con la frecuencia de radio alimentando solo la mitad de un conductor.

La siguiente figura ilustra el patrón de la radiación del dipolo de media onda que es normalmente llamado un dipolo. Considerando la antena isotropica como un patrón de radiación tridimensional es esférico, la antena dipolo es un modelo tridimensional que forma como una dona.



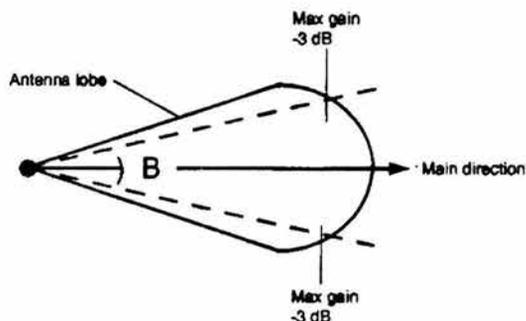
La ganancia obtenida con respecto a un dipolo se expresa en unidades de "dBd". Para un dipolo y una antena isotropica con la misma potencia de entrada, la energía se concentra más en ciertas direcciones por el dipolo. La diferencia de ganancia entre el dipolo y la antena isotropica es 2.15 dB. La siguiente figura ilustra las diferencias en la ganancia entre la antena isotropica, dipolo y una antena práctica. El patrón vertical para la antena práctica es de una antena direccional.

Comparación de ganancia de una antena.



Al escoger una antena para una aplicación específica, se debe consultar la hoja de los datos del fabricante. La hoja de los datos contiene la información incluyendo la ganancia de la antena, Ancho de banda (vertical y horizontal), y gráficos que muestran el patrón vertical y horizontal.. Los patrones desplegados son aquellos de una antena direccional. La ganancia de la antena es aproximadamente 15 dBd.

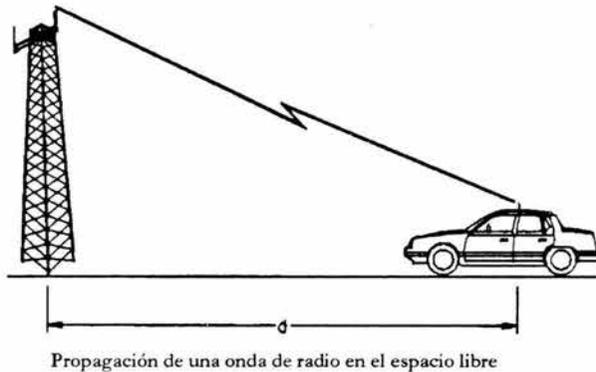
El ancho de banda se define como el ángulo de la apertura entre los puntos dónde la potencia radiada es 3 dB en la dirección principal. Ambos anchos de banda, horizontales y verticales se encuentran usando los 3 dB.



Definición de ancho de Banda

#### 4.3.7 Propagación de la Onda de Radio

En esta sección se verá principalmente la pérdida de la transmisión entre dos antenas: el transmisor y el receptor. Muchos factores como la absorción, refracción, reflexión, la difracción, y esparcimiento afectan la propagación de la onda. Sin embargo, en el espacio libre una onda electromagnética viaja indefinidamente sin ningún impedimento. Esto no significa que no hay ninguna pérdida de la transmisión, nosotros veremos en este primer modelo simple dónde la emisión isotrópica del transmisor entre las dos antenas separadas por una distancia,  $d$ , en el espacio libre es supuesta.



En una antena isotrópica por definición la potencia emitida  $P_t$ , es igual en todas las direcciones, la densidad de la potencia  $S_r$ , es decir, la potencia por unidad de área, el decrecimiento de la área irradiada  $4\pi d^2$  y la distancia  $d$  incrementa.

$$S_r = \frac{P_t}{4\pi d^2}$$

Si la transmisión de la antena tiene una ganancia  $G_t$ , esta medición está concentrándose la radiación hacia el receptor. La densidad de potencia a los aumentos de la antena receptoras con un factor proporcional a  $G_t$ .

$$S_r = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2}$$

La potencia recibida por la antena receptora  $P_r$ , es proporcional al área efectiva  $A_r$ , de esa antena.

$$P_r = S_r \cdot A_r$$

Se puede demostrar que la área efectiva de una antena es proporcional a la ganancia de la antena  $G_r$  y el cuadrado de la longitud de onda  $\lambda$ , de la onda de radio es involucrada.

$$A_r = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

y de la potencia recibida se tiene:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

La pérdida de la transmisión puede ser calculada como la proporción entre la potencia transmitida y la potencia recibida.

$$loss = \frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2}$$

Usando la unidad logarítmica dB se obtiene la pérdida de la transmisión,  $L$ , se obtiene entonces:

$$L = 10 \log(loss) = 10 \log \left( \frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2} \right) = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) - 10 \log(G_t) - 10 \log(G_r)$$

Para tener la ganancia de la antena,  $10 \log(G_r)$  y  $10 \log(G_t)$ , separadamente llamado como el Path loss  $L_p$ , sólo el término  $20 \log(4\pi d / \lambda)$ . Para obtener el Path loss en el espacio libre se obtiene:

$$L_p = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

La dependencia de la longitud de onda del Path loss no hace que corresponda a las pérdidas en el espacio libre. Esta es consecuencia de que el área del receptor eficaz finita.

La única cosa que cambia cuando se mejora los modelos es la expresión para el Path loss. La ganancia de la antena normalmente se da en el dB, por ejemplo, como  $10 \log(G)$ , donde el medio de ganancia como una reducción de la pérdida de la transmisión total  $L$ , entre un transmisor y la antena receptor.

El modelo ayuda a entender los rasgos más importantes de propagación de la onda de radio. Es decir, la potencia recibida disminuye cuando la distancia entre la antena aumenta y el transmisor incrementa la pérdida cuando la longitud de la onda disminuye (o alternativamente cuando la frecuencia aumenta).

Para la planeación de la célula es muy importante ser capaz para estimar las fuerzas señaladas en todas las partes del área a cubrir. El modelo descrito puede ser usado como una primera aproximación. Sin embargo, existen modelos más complicados.

Las mejoras pueden ser hechas considerando para:

- El hecho que se reflejan las ondas de radio hacia la superficie de la tierra (la conductibilidad de la tierra es así un parámetro importante).
- Las pérdidas de la transmisión debido a las obstrucciones en la línea.
- El radio finito de la curvatura de la tierra.
- Las variaciones topográficas en un caso real así como las propiedades de la atenuación en los diferentes de tipos del terreno como los bosques, áreas urbanas, suburbanas, etc.

Los mejores modelos usados son semi-empíricos, por ejemplo, basado en las mediciones del Path loss/atenuación en los varios terrenos. El uso de tales modelos se motiva por el hecho que la propagación de la radio no puede medirse por todas partes. Sin embargo, si se toman las medidas en los ambientes típicos, pueden multiponerse a punto los parámetros del modelo para que el modelo sea tan bueno posible para ese tipo en particular de terreno.

#### **4.3.8 Variaciones de la Señal**

Los modelos pueden usarse para estimar la cobertura del nivel de la señal (llamado "mean global" medio global) a la antena receptora. Sin embargo, una señal de radio está compuesta de una señal débil rápida super-impuesta en una señal débil lenta. Estas señales débiles son el resultado de obstrucciones y reflexiones. Se tiene una señal que es posiblemente débil, directa y varias indirectas o señales reflejadas.

Una señal débil rápida (la distancia punto-a-punto =  $\lambda / 2$ ) es usualmente presente durante la radio comunicación debido al hecho que la antena móvil es baja como las estructuras circundantes, como los árboles y edificios. Éstos actúan como los reflectores. La señal resultante consiste en varias ondas con varias amplitudes y fases. Esto puede llevar a un nivel señalado debajo de la sensibilidad del receptor. En campos abiertos dónde una onda directa está dominando, este tipo de atenuación es menos notable.

El termino corto de una atenuación o debilitamiento de la señal llamado Rayleigh distribuido con respecto al voltaje de la señal. Por consiguiente, se llama a menudo el Rayleigh atenuador. Este tipo de atenuación afecta la calidad de la señal.

El primero y más simple solución es usar más potencia al transmitir, proporcionando un margen de atenuación. Otra manera de reducir el daño por el efecto Rayleigh es usando una diversidad del espacio, que reduce el número de atenuaciones o debilitamiento de la señal, usando una amplia diversidad del espacio la calidad de la voz es mejorada.

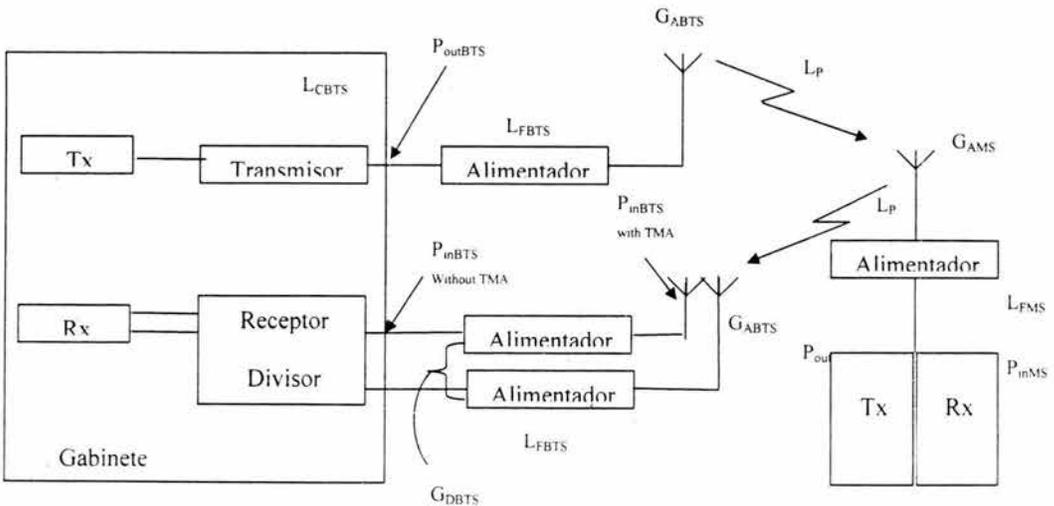
#### 4.3.9 Equilibrio del Sistema

Un área es referida como el área a cubrir con una señal recibida, en un sistema móvil en esa área es más alta que algún valor mínimo.

Un valor típico en este caso está alrededor de -90 dBm (1pW).

Sin embargo, el límite de un sistema de comunicación de radio bidireccional es determinado por la dirección de la transmisión más débil. Ésta es la causa de una cantidad del exceso de energía sea disipada en el sistema que agrega interferencias extras y costos. Un equilibrio del sistema debe obtenerse antes del cálculo del límite.

Para lograr este equilibrio es necesario asegurarse que el límite de sensibilidad, (MSsens), del Sistema Móvil (para la transmisión del downlink) alcanza al mismo punto como el límite de sensibilidad, (BTSsens), del BTS (para la transmisión del uplink)



Este es un gráfico esquemático de los componentes incluidos en un sistema en equilibrio. Donde: G = Ganancia, L = Pérdida, UN = Antena, F = Alimentador, C = Combinador, MS = Estación Móvil, BTS

= Estación del Transmisor, D = Diversidad, Pin = potencia de entrada, Pout = potencia de salida y Lp = pathloss.

La potencia de entrada,  $P_{in_{MS}}$ , en el receptor del MS iguala la potencia de salida, ( $P_{out_{BTS}}$ ), del BTS más las ganancias y las pérdidas.

$$P_{in_{MS}} = P_{out_{BTS}} - L_{C_{BTS}} - L_{f_{BTS}} + G_{a_{BTS}} - L_p + G_{a_{MS}} - L_{f_{MS}}$$

y

$$P_{in_{BTS}} = P_{out_{MS}} - L_{f_{MS}} + G_{a_{MS}} - L_p + G_{a_{BTS}} + G_{d_{BTS}} - L_{f_{BTS}}$$

Para algunas configuraciones de pérdida doble, ( $L_{dupl_{BTS}}$ ), pueden ser importante. La diversidad de polarización usada puede ser necesaria para introducir una polarización inclinada ( $\pm 45^\circ$ ) a la pérdida del downlink, ( $L_{slant_{BTS}}$ ). Asumiendo que el pathloss, ( $L_p$ ), es idéntico en el uplink y downlink y que las antenas transmisoras y receptoras del BTS tienen la misma ganancia, substrayendo la segunda ecuación de la primera.

$$P_{in_{MS}} - P_{in_{BTS}} = P_{out_{BTS}} - P_{out_{MS}} - L_{C_{BTS}} - G_{d_{BTS}}$$

Se obtiene:

$$P_{in_{MS}} - P_{out_{BTS}} = MS_{sens} - BTS_{sens}$$

$$P_{out_{BTS}} = P_{out_{MS}} + L_{C_{BTS}} + G_{d_{BTS}} + (MS_{sens} - BTS_{sens})$$

En la BTS la potencia de salida, ( $P_{out_{BTS}}$ ), moderando el rendimiento de la salida (RX) debe ser superior que la potencia de salida del MS, ( $P_{out_{MS}}$ ), por un valor correspondiente a la suma de la diversidad ganada, ( $G_{d_{BTS}}$ ), combinando la pérdida, ( $L_{C_{BTS}}$ ), y la diferencia en la sensibilidad ( $MS_{sens}$ , -  $BTS_{sens}$ ). Se debe notar que los puntos de referencia para las sensibilidades pueden ser diferentes al equilibrarlos, por ejemplo un sistema GSM 1900 usando una Antena con amplificador del Ruido Bajo.

Equilibrando el sistema GSM 1900 con un MS clase 4. Por ejemplo  $P_{out_{MS}} = 2$  W o 33 dBm, usando  $G_{d_{BTS}} = 3.5$  dB,  $L_{C_{BTS}} = 3$  dB, y usando valores para las sensibilidades como  $MS_{sens} = -104$  dBm y  $BTS_{sens} = -110$  dBm, potencia de salida de la BTS:

$$P_{out_{BTS}} = 33 + 3 + 3.5 + (-104 + 110) = 45.5 \text{ dBm}$$

La potencia de salida del BTS necesita ser más alto que la potencia de salida del MS porque no sólo el BTS es más sensible (y puede aceptar una potencia de señal más pequeña) también tiene una pérdida extra cuando transmite,  $L_{C_{BTS}}$ , y una ganancia extra cuando recibe. El equilibrio es independiente de la ganancia de la antena.

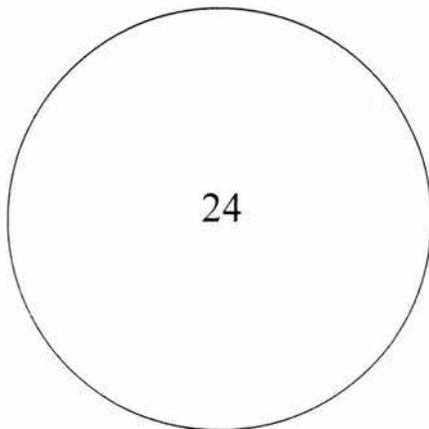
Sin embargo, la cobertura puede ser cambiada por la ganancia de la antena, desde que es simétrico, es decir incrementando la cobertura downlink de la ganancia por un aumento correspondiente en el límite del uplink.

La potencia de la BTS nunca debe cambiarse una vez que el sistema es equilibrado para una configuración en particular y la clase del móvil.

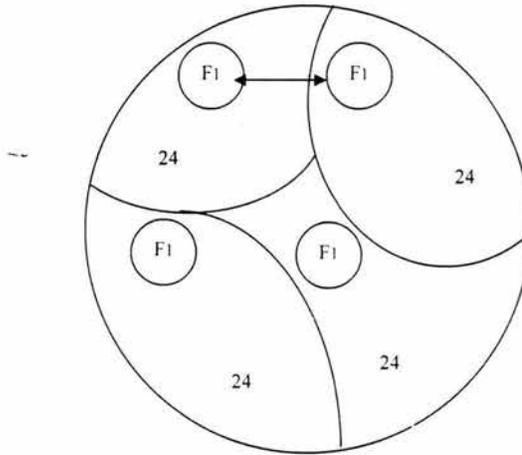
Si se desean las "células más pequeñas", la potencia puede disminuir, forzando o disminuyendo la potencia de salida del MS.

La solución de problema de planificación celular más simple es tener una célula y usar a los portadores disponibles en esa célula. Sin embargo, tal una solución tiene las limitaciones severas, raramente en el límite puede mantenerse el área entera deseada. Además, aunque la utilización del canales puede que la capacidad sea muy alta y limitada.

Un sistema celular es basado en re-uso del mismo juego de frecuencias que se obtienen dividiendo el área que necesita las áreas más pequeñas (las células). Un cluster es un grupo de células. Desde que las mismas portadoras se usan en las células en los clusters vecinos, las interferencias pueden volverse un problema, de hecho, la frecuencia de re-uso y la distancia, es decir la distancia entre dos sitios que usan al mismo portador, debe ser tan grande como sea posible de un punto de la interferencia.



En esta figura vemos un ejemplo de un área atendida por una sola célula de 24 interfaces.



En esta figura vemos las mismas áreas de la figura anterior pero ahora sistemáticamente dividida por cuatro clusters. Los círculos pequeños indican células individuales donde la frecuencia  $F_1$  se está usando y las distancias entre los sitios correspondientes, conocidos como frecuencias de distancia de re-uso, indicadas por la doble flecha.

#### 4.4 Dimensionamiento celular

Un primer enfoque para el diseño de cualquier tipo de red móvil consiste en colocar una única antena, con potencia suficiente como para dar cobertura a todo el territorio necesario:

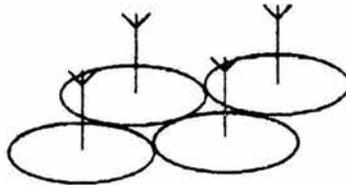


Este método, sin embargo, plantea una serie de inconvenientes importantes:

- Se requiere mucha potencia en la antena, pero sobre todo, demasiada potencia en las terminales, que han de ser reducidos.
- Existe una gran dependencia en un único elemento en la red.

Además, la capacidad viene limitada por el ancho de banda total disponible, junto con el ancho de banda necesario para cada comunicación. Esto origina otro problema, pues la capacidad de crecimiento de la red esta muy limitada, pues para ello habría que incrementar el ancho de banda total disponible para la red, tarea complicada y costosa.

Como alternativa a este enfoque se encuentra el **Modelo Celular**, consistente en la división de la zona de cobertura en una serie de zonas más pequeñas, determinadas **Celdas**. Cada celda tendrá asociada una **Estación Base** o **Radio Base**, la cual podrá utilizar un número determinado de canales.



En este modelo, no se podrán utilizar las mismas frecuencias entre dos o más celdas contiguas, pues cabría la posibilidad de provocar interferencias. Si esta permitido en cambio, la utilización de mismas frecuencias en celdas que estén lo suficientemente separadas unas de otras.

A partir de este hecho se define la **Distancia Cocanal** y la **Distancia de Reutilización** a la distancia mínima permitida entre dos celdas que operen con el mismo juego de frecuencias. Así, dos celdas consideradas cocanales utilizaran el mismo juego de frecuencias.

El parámetro de calidad empleado en el modelo celular lo da el nivel de **Relación señal a interferencia**, o  $(S / I)$ , en lugar de usual relación señal a ruido  $(S / N)$ . Esto se debe a que en este modelo, las interferencias son mucho más perjudiciales que el propio ruido.

Se puede establecer la siguiente relación  $(S / I)$  y los parámetros de la celda:

$$(S / I) = (D / R) n$$

Donde:

D: es la distancia cocanal.

R: es el radio de la celda.

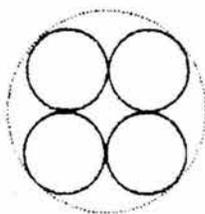
n: indica el tipo de propagación.

Este valor n puede variar entre dos o cuatro, siendo estos valores importantes  $n = 2$  (espacio libre) y  $n = 4$  (Tierra plana).

En el caso de que el número de usuarios de una determinada zona crezca, basta con dividir la zona en cuestión en una serie de celdas más pequeñas, reutilizando los juegos de frecuencias anteriores. Esto se debe llevar a cabo manteniendo la relación (D / R) constante, lo que asegurara el mismo nivel de interferencia suficiente para el correcto funcionamiento del sistema.

En estas celdas más pequeñas, las Radio Bases deberán trabajar con una potencia que también se habrá reducido.

Puesto que cada una de las celdas pequeñas mantiene el mismo número de frecuencias que la celda grande original, el efecto global es un aumento de la capacidad del sistema.



Existe, sin embargo, un límite en la reducción del tamaño de las celdas. Cuando un móvil cambia de celda, el sistema deberá realizar un cambio de frecuencias. Por eso, en el caso de que haya un número elevado de celdas, estos cambios de frecuencia se darán muy a menudo, provocando un tráfico de señalización demasiado elevado como para ofrecer una calidad suficiente.

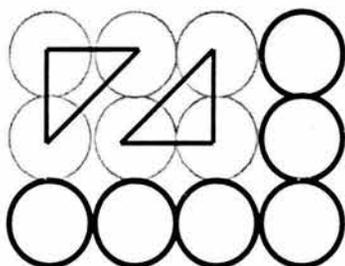
Se define **grupo** o **cluster** como un conjunto de celdas tal que en ellas se dan todas las frecuencias posibles, teniendo en cada celda un juego distinto de las mismas.

Esto permite agrupar las celdas en bloques más grandes, para poder mantenerlos de forma más sencilla.

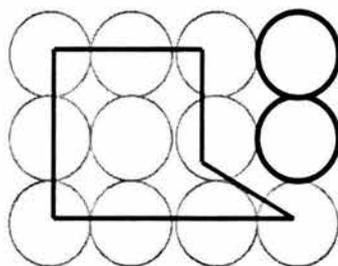
Por ejemplo, si disponemos de 100 frecuencias, que ofrecen 100 canales de comunicación distintos posible:

- Si hacemos cluster de 10 celdas, tendrán 10 frecuencias por celda.
- Si hacemos clusters de 5 celdas, tendrán 20 frecuencias por celda.

Cuanto mayor sea el tamaño del grupo, mayor será la distancia cocanal, mejorando el sistema a nivel de interferencias. Sin embargo, se dispondrá de un número menos de frecuencias por celda, y cabe el riesgo de saturación de una de ellas.

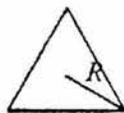


Cluster de 3

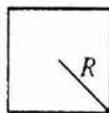


Cluster de 10

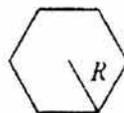
Una vez presentado el modelo celular, debemos escoger una forma concreta para las celdas. De forma conceptual, puesto que en la práctica las formas variarían según los parámetros del medio, escogeremos entre las siguientes:



triángulo



cuadrado



hexágono

$$S = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{4} R^2 \approx 1.3R^2$$

$$S = 2 \cdot R^2$$

$$S = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2} R^2 \approx 2.6R^2$$

Como se puede ver, para un mismo radio  $R$ , el **hexágono** ofrece mayor superficie, y se necesitara un número menor de celdas

hexagonales (con respectivas estaciones base) para cubrir una zona determinada.

Una vez que establecemos el hexágono como forma de celda, deberemos estudiar las posibles agrupaciones. Por ejemplo, con grupos de 5 hexágonos no podremos cubrir nunca un plano, pues sería imposible evitar que celdas contiguas tuviesen el mismo juego de frecuencias.

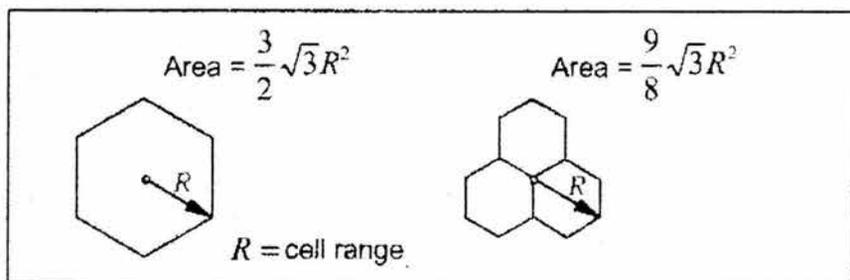
La relación que deben cumplir las agrupaciones validas son:

$$j = u^2 + v^2 + u \times v$$

$u$  y  $v$  son dos números enteros cualesquiera.

$j$  es el número de celdas por cluster, y valores posibles son 1, 3, 4, 7, 9, 12...

Relación entre el área de cobertura y el rango de la célula.



Al mismo tiempo, existe una relación directa entre el número de celdas cluster y la relación  $(D/R)$  de cada célula:

$$j = \frac{1}{3}\left(\frac{D}{R}\right)^2$$

Se define la **relación de protección**  $R_p$  al valor mínimo de la relación señal a interferencia permitido por el sistema, de forma que si dicha relación es menor a este limite, los receptores no serán capaces de demodular la señal recibida:

$$\left(\frac{C}{I}\right) \leq R_p$$

Si las celdas son hexagonales, podremos tener hasta 6 interferencias cercanos, dando por supuesto que una interferencia lejana tendrá la potencia adecuada como para influir en la celda en cuestión. Entonces, podremos obtener:

$$\left(\frac{C}{I}\right) = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R}\right)^6 \geq R_p$$

Elevando ambos miembros a  $2/n$ :

$$\left[\left(\frac{D}{R}\right)^6\right]^{2/n} \geq (6 \cdot R_p)^{2/n}$$

$$\left(\frac{D}{R}\right)^2 \geq (6 \cdot R_p)^{2/n}$$

Podemos sustituir en esta ecuación la relación del número de celdas:

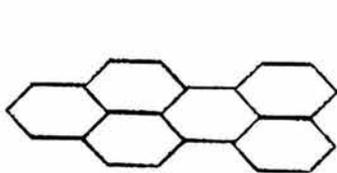
$$j = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R}\right)^2 \rightarrow 3j \geq (6 \cdot R_p)^{2/n}$$

Y obtenemos así el límite inferior al número de células por cluster:

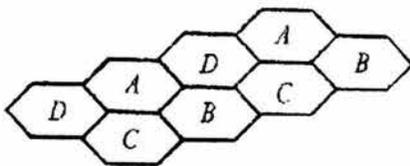
$$j \geq \frac{1}{3} (6 \cdot R_p)^{2/n}$$

El caso normal consiste en 3, 4, 7 o 9 celdas por cluster.

Algunos ejemplos de agrupaciones serían:

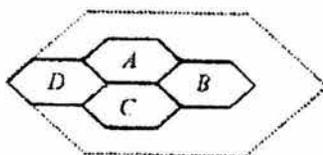


*cluster de 3*



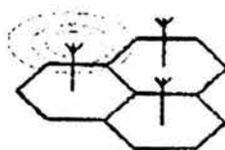
*cluster de 4*  
(distancia cocanal de 2)

Si hay que aplicar el número de recursos, se puede dividir una celda en celdas más pequeñas, donde cada una de las celdas nuevas deberá trabajar con una potencia inferior a la original:

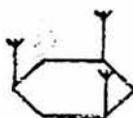


En un sistema normal coexisten celdas grandes (en zonas rurales, carreteras, etc.) con celdas pequeñas (en ciudades, aeropuertos, etc.)

Hasta ahora, hemos considerado las celdas que contienen una antena omnidireccional y plana situada en el centro de la misma. Así, es lógico pensar que en cada celda se podrán dar hasta 6 interferencias cercanas:

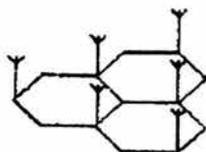


Sin embargo, si colocamos antenas sectoriales de  $120^\circ$ , se sigue cubriendo la celda sin problemas, y las frecuencias se reparten entre las distintas antenas de la misma celda:

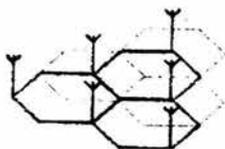


Con esta técnica se consigue reducir el número de interferencias cercanas a 2 o 3, consiguiendo entonces reducir el número mínimo de celdas por cluster. Esto permite entonces asignar un número mayor de frecuencias por celda, sin tener que reducir las.

A cambio, las estaciones base tendrán en tres celdas distintas a la vez, utilizando dichas antenas sectoriales:



En la práctica, este cambio no es más que un desplazamiento de la rejilla de celdas:



Con todo lo anteriormente expuesto, se puede resumir el proceso de evolución de una red como sigue:

En redes de telefonía móvil poco maduras, o en los inicios de las mismas, las celdas son grandes y tienen Radio Bases en los centros.

Conforme la red evoluciona, se colocan celdas mas reducidas, y finalmente, se mantienen dichas celdas, trasladando la rejilla, para conseguir así un mayor número de canales por celda.

#### 4.4.1 Magnitudes del modelo celular

Esta es una lista de las magnitudes que caracterizan a un modelo celular:

##### Magnitudes Geométricas.

- Área donde se desea dar servicio.
- Área de un cluster.

- Área de una celda o radio de la misma.
- Distancia cocanal o de reutilización.

### **Magnitudes radioeléctricas.**

- Ancho de banda total asignado al operador.
- Ancho de banda que ocupa cada canal.
- Relación de protección  $R_p$ .
- Número de canales duplex disponibles. Se pueden calcular como:

- 1) Espectro total.
- 2) Espectro por canal.

donde el factor  $\frac{1}{2}$  puede o no estar, dependiendo del tipo de modulación.

- Número de canales por celdas.

### **Magnitudes de tráfico.**

- Intensidad de tráfico, que depende de la tasa de llegada y de tiempo medio de duración de cada llamada.

### **Magnitudes de dimensionamiento.**

- Número de terminales móviles.
- Número de celdas por cluster.

## **4.5. Estudio de la Red de Radio**

Los resultados de los procesos de la planeación celular pueden cambiar. Si el operador ha tenido acceso a las locaciones existentes, es necesario adaptar un plan celular de acuerdo a estos lugares. Por esta razón es importante que el planteamiento celular sea de conocimiento básico y que estos lugares lo puedan usar.

## **Consideraciones básicas.**

Es como el sistema operado por números de edificios alternativos los cuales pueden ser usados en la fase del planeamiento de la red celular.

Los siguientes aspectos serán estudiados para la selección del sitio:

- La posición relativa del área nominal.
- Espacio para las antenas.
- Separación entre antenas.
- Obstáculos cercanos.
- Espacio para el equipo de radio.
- Proveedor del equipo de potencia / batería de respaldo.
- Transmisión de enlace.
- Servicio del área del estudio.
- Contrato con el propietario.

### **Posición relativa del área nominal.**

El estudio inicial de un sistema celular a menudo resulta en patrones celulares teóricos con posiciones nominales de los sitios localizados. Los edificios existentes serán adaptados de modo que las posiciones reales se establezcan y reemplacen las posiciones nominales.

Deberán visitar el sitio para determinar la posición exacta (dirección / coordenadas y niveles del suelo). Es posible que existan otros sitios para usar la posición nominal específica.

### **Espacio para las antenas.**

La predicción de la propagación de radio provee un indicador del tipo de antenas que pueden ser usadas en la radio base y en que dirección deberán ser orientadas.

La predicción de la altura de las antenas puede ser utilizada como una guía cuando el estudio del sitio comience. Si se puede encontrar un sitio con una desviación máxima del 15% de la altura predicha se puede usar con suficiente precisión.

Si es posible instalar las antenas a la altura y posición predicha, el operador deberá asegurarse que no existe riesgo de interferencia cocanal. Si la instalación las antenas en una posición más baja que la predicha, la nueva predicción deberá llevar fundamentada esta posición.

Si no son necesarias todas las antenas en una célula en particular que tenga la misma altura o dirección. Esta hace posible tener células de la misma radio base con antenas de diferentes alturas. Esto sirve en los casos en los que el espacio este limitado en algunas direcciones. También hay razones para la planeación de las células para poner antenas de distintas alturas. Esto incluye cobertura, aislamiento, diversidad y/o interferencias.

### **Separación entre antenas.**

Hay dos razones para separar las antenas unas de otras y otros sistemas de antenas:

- Alcanzar diversidad del espacio.
- Alcanzar el aislamiento.

La distancia de separación horizontal para obtener diversidad de espacio suficiente entre antenas es de  $12 - 18 \lambda$  o 4 - 6 metros en GSM 900 y 2 - 3 mts en GSM 1800 / 1900. los valores típicos de separación de distancias entre las antenas obtenidos con suficiente aislamiento (normalmente 30 dB) son 0.4 m (horizontal) y 0.2 m (vertical) para GSM 900.

### **Obstáculos cercanos.**

Una parte importante en el estudio de la red de radio es clasificar la clase de alrededores con respecto a la influencia en la propagación de radio. En una red tradicional de comunicación punto - a - punto una línea de señal es requerida. Un criterio en el planteamiento es tener una zona fresnel libre de obstáculos. <sup>6</sup>

Si se requiere una cobertura optima, es necesario tener antenas libres cercanas a los 50 - 100 m. La primera zona fresnel estará a cinco metros de distancia aproximadamente (por 900 MHz). Esto significa que la parte baja del sistema de la antena estará 5 metros sobre los alrededores.

### **Espacio para el equipo del radio.**

El equipo de radio deberá ser puesto lo más cerca posible a las antenas para reducir la perdida de feeders y jumpers así como el costo. Sin embargo estas desventajas pueden ser aceptadas, otros sitios para el equipo deberán ser considerados. También el espacio suficiente deberá ser asignado para futuras expansiones.

### **Parámetros celulares.**

Los parámetros necesarios para que el operador pueda ajustar y sintonizar la red para reparar los requerimientos específicos. Todos los parámetros tienen rangos específicos permitidos y en casi todos los casos un valor determinado.

Los valores determinados son un buen punto de comienzo en un sistema nuevo. Mas tarde cuando el sistema opere y se midan serán colectados, los parámetros podrán ser sintonizados. Los parámetros cambiarán por tiempos porque si más de un parámetro es cambiado será difícil determinar que parámetro afecta al sistema.

### **Características del control de la red de radio.**

Otros parámetros son usados para controlar las características de la red de radio como las Transmisiones discontinuas (DTX), salto de frecuencia y control de potencias.

### **Contadores y Filtros.**

Hay varios contadores y filtros que pueden ser usados como parámetros. Dependiendo del tiempo fijado o longitud de filtros al que el sistema responda rápido o lento a los cambios. Un sistema rápido es menos estable que el sistema lento. En un sistema rápido es necesario usar microcélulas porque en este caso es frecuente el handover.

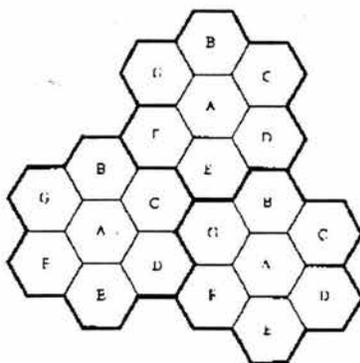
## **4.6 Re-usó de Frecuencias**

Los sistemas celulares de radio dependen de una distribución inteligente y rehusó de canales a lo largo de una región de cobertura. En cada estación base se destina un grupo de canales de radio para ser usados dentro de un área geográfica pequeña llamada **celda**. En las estaciones bases en celdas adyacentes se le asignan grupos de canales diferentes. Las antenas de las estaciones bases se diseñan para lograr la cobertura deseada dentro de la celda particular. Debido a la limitación de canales dentro del área de cobertura dentro de los límites de una celda, el mismo grupo de canales puede usarse para cubrir celdas diferentes que se separan unas de otras por distancias

suficientemente grandes para guardar los niveles de interferencia dentro de límites aceptables. El proceso de diseño y ubicación de los grupos de canales para todas las estaciones bases celulares dentro de un sistema se llama:

### Re-usó de frecuencia o planeamiento de frecuencia.

La siguiente figura ilustra el concepto del re-usó de frecuencia, donde las celdas marcadas con la misma letra usan el mismo grupo de canales. El plan de re-usó de frecuencia es hecho sobre un mapa para indicar donde los canales con diferente frecuencia son usados.



La forma hexagonal de la celda mostrada en la figura es conceptual y es un modelo simplista de la cobertura de radio para cada estación de base, pero se ha adoptado universalmente debido a que el hexágono permite un análisis fácil y manejable de un sistema celular. La cobertura real de radio de una celda es conocida como *footprint* y es determinado con mediciones prácticas hechas en el campo o con el modelo de propagación preestablecido. Aunque el *footprint* verdadero sea amorfo en la naturaleza, una forma regular de celda se necesita para un diseño sistemático y una adaptación para crecimientos futuros. Mientras podría parecer que es más natural que se escoja un círculo para representar el área de cobertura de una estación base, los círculos adyacentes no pueden dibujarse sobre un mapa sin dejar brechas o creando regiones de superposición. Así, cuando se considera las formas geométricas que cubren una región entera sin la

superposición y con el área igual, hay tres elecciones sensatas: un cuadrado; un triángulo equilátero; y un hexágono.

Una celda debe diseñarse para servir al más débil de los móviles dentro del área de cobertura, y este se ubica típicamente en el borde de la celda. Para una distancia determinada entre el centro de un polígono y su perímetro interior, el hexágono tiene el área más grande de los tres.

Así, debido al uso de la geometría del hexágono, un menor número de celdas puede cubrir una región geográfica, y el hexágono se aproxima a un modelo circular de radiación que ocurriría para una antena omni-direccional de una estación base y propagación libre de espacio. Por supuesto, el área de cobertura celular (footprint) real es determinada por el contorno en que un transmisor determinado sirve exitosamente al móvil.

Cuando se usan los hexágonos para modelar las áreas de cobertura, en las estaciones bases los transmisores son tratados como si estuvieran en el centro de la celda (celdas excitadas en el centro) o sobre tres de los seis vértices de la celda (celdas excitadas por los vértices).

Normalmente, las antenas omni-direccionales se usan en aquellas celdas excitadas en el centro y antenas sectorizadas direccionales se usan en las celdas de excitación por el vértice. Las consideraciones prácticas comúnmente no permiten estaciones bases superpuestas exactamente como aparecen en el esquema hexagonal. La mayoría de los diseños de sistemas permiten que una estación base sea ubicada arriba de un cuarto del radio de la celda a partir de la ubicación ideal.

Para comprender el concepto de rehusó de frecuencias, consideremos un sistema celular donde hay un total de  $S$  canales dúplex disponibles para su uso. Si a cada celda se destina un grupo de  $k$  canales ( $k < S$ ), y si los  $S$  canales se dividen entre  $N$  celdas que poseen grupos de canales con la misma cantidad de canales, el número total de los canales disponibles de radio pueden expresarse como:

$$S = kN \quad (1)$$

Las  $N$  celdas que colectivamente usan el conjunto completo de frecuencias disponibles se llaman cluster. Si un cluster se duplica  $M$  veces dentro del sistema, el número total de canales dúplex,  $C$ , puede usarse como una medida de la capacidad y esta dado por:

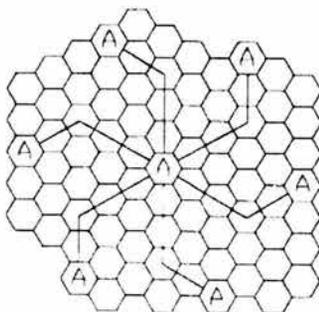
$$C = MkN = MS \quad (2)$$

Como es visto en la ecuación (2), la capacidad de un sistema celular es directamente proporcional al número de veces en que un cluster se repite en un área de servicio fijo. El factor  $N$  es llamado como *tamaño del cluster* y es típicamente de 4, 7, o 12. Si el tamaño del cluster  $N$  se reduce mientras el tamaño de celda se mantiene constante, más clusters se requieren para cubrir un área determinada y de aquí que más capacidad (un valor más grande de  $C$ ) es conseguida. Un tamaño grande de cluster indica que la relación entre el radio de la celda y la distancia entre las celdas co-canales es grande. Viceversa, un tamaño pequeño de cluster indica que las celdas co-canales se ubican mucho más juntas. El valor para  $N$  es una función de cuánta interferencia de un móvil o una estación base puede tolerar mientras mantiene una calidad suficiente en la comunicación. Desde el punto de vista de diseño, el valor más pequeño posible de  $N$  es deseable a fin de aumentar al máximo la capacidad sobre un área determinada de cobertura (Por ej., para aumentar al máximo  $C$  en la ecuación (2)). El factor de re uso de frecuencia de un sistema celular esta dada por  $1/N$ , ya que a cada celda dentro de un cluster solo le es asignado  $1/N$  del total de canales disponibles en el sistema.

Debido a que la geometría hexagonal tiene exactamente seis vecinos equidistantes y que las líneas que unen los centros de cualquier celda y cada uno de sus vecinos están separadas por múltiplos de 60 grados, existe un único tamaño de cluster y forma de celda posible. Para conectar sin brechas entre celdas adyacentes, la geometría de los hexágonos es tal que el número de celdas por cluster,  $N$ , puede únicamente tener los valores que satisfacen la ecuación (3).

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (3)$$

Donde  $i$  y  $j$  son enteros no negativos. Para encontrar el co-canal vecino más cercano de una celda particular, hay que hacer lo



siguiente: (1) mover  $i$  celdas a lo largo de cualquier cadena de

hexágonos y entonces (2) girar 60 grados en sentido antihorario y desplazarse  $j$  celdas. Esto se ilustra en la siguiente figura para  $i = 3$  y  $j = 2$  (ejemplo,  $N = 19$ ).

Este es un método de ubicar las celdas co-canales en un sistema celular. En este ejemplo,  $N = 19$  (P. ej.,  $i = 3, j = 2$ ).

#### 4.6.1 Estrategias para la asignación de canales.

Para la utilización eficiente del espectro de radio, un esquema de rehusó de frecuencia que sea consistente con los objetivos de incrementar la capacidad y minimizar la interferencia es requerido. Una variedad de estrategias de asignación de canales han sido desarrolladas para conseguir estos objetivos. Las estrategias de asignación de canales pueden ser clasificadas tanto como fijas o dinámicas. La elección de la estrategia de asignación de canal influye en el rendimiento del sistema, particularmente cuando una llamada de un usuario móvil es pasada de una celda a otra (handoff).

En una estrategia de asignación de canal **fija**, a cada celda se le predetermina un conjunto de canales de voz. Una llamada dentro de la celda puede solo ser servido por un canal sin uso en esa celda particular. Si todos los canales en esa celda están ocupados, la llamada es bloqueada y el suscriptor no recibe el servicio. Existen muchas variaciones en las estrategias de asignación de canal fijo. Una de ellas, llamada **estrategia de préstamo**, consiste en que a una celda le es permitido prestar canales desde una celda cercana, si todos sus canales están ocupados. El Centro Móvil de Conmutación (MSC) supervisa el proceso y se asegura que el préstamo del canal no interrumpa o interfiera alguna llamada en progreso.

En una estrategia **dinámica**, los canales de voz no son destinados a celdas diferentes permanentemente. Es decir que cada vez que un pedido de llamada es realizada, la estación base pide un canal desde el MSC. El conmutador entonces destina un canal a la celda que sigue un algoritmo. Este algoritmo toma en cuenta la probabilidad de bloqueo futuro dentro de la celda, la frecuencia de uso del canal candidato, la distancia de rehusó del canal, y otras funciones de costo.

Consiguientemente, el MSC solo destina una frecuencia determinada y si esa frecuencia no es actualmente usada en la celda o ninguna otra celda que este dentro del mínimo de distancia de rehusó de frecuencia para evitar interferencia co-canal. La asignación dinámica de canal reduce la probabilidad de bloqueos, el cual incrementa la capacidad de trunking del sistema, ya que todos los canales disponibles en un mercado son accesibles a todas las celdas. La

asignación dinámica requiere que el MSC recolecte datos en tiempo real de los canales ocupados, distribución del tráfico y RSSI (radio signal strength indication) de todos los canales en forma continua. Esto incrementa la carga computacional y el almacenamiento sobre el sistema, pero proporciona la ventaja de incrementar la utilización de los canales y disminuir la posibilidad de un bloqueo de las llamadas.

#### **4.6.2 Interferencia y Capacidad del Sistema.**

La interferencia es el mayor factor de limitación en el rendimiento de sistema celular. Una fuente de interferencia puede ser otro móvil dentro de la misma celda, una llamada en progreso, otra estación base operando en la misma frecuencia. Interferencias sobre los canales de voz causan que la comunicación se corte. En los canales de control hace que las llamadas se bloqueen o se pierdan. Las interferencias son más frecuentes en las zonas urbanas, dado que existen muchas estaciones bases, móviles y ruidos de RF. Las interferencias son reconocidas como el mayor cuello de botella para incrementar la capacidad, y a menudo responsable de las llamadas perdidas.

Los mayores tipos de sistemas causantes de interferencias son: La interferencia co-canal y la interferencia de canales adyacentes. En la practica una fuente de interferencia suele producirse entre los proveedores de servicios, ya que las estaciones bases de ambos suelen ubicarse próximas de manera a dar la misma cobertura a los usuarios.

##### **Interferencia co-canal.**

El rehusó de frecuencia implica que en una determinada área existan varias celdas que utilizan el mismo conjunto de frecuencias. Estas celdas son llamadas celdas co-canales, y la interferencia entre las señales de ellas es llamada interferencia co-canal. Sin tener en cuenta el ruido térmico el cual puede producirse al incrementar la relación señal-ruido (SNR), la interferencia co-canal no puede ser combatida aumentando la potencia de transmisión.

Esto es debido a que aumentando la potencia del transmisor aumenta la interferencia en la densidad de la celda co-canal. Para evitar la interferencia co-canal, las celdas co-canales deben físicamente separarse una distancia mínima para proveer suficiente aislación en la propagación.

En los sistemas celulares cuando el tamaño de las celdas es aproximadamente la misma, la interferencia co-canal es

independiente de la potencia de transmisión y esta en función al radio (R) de la celda, y la distancia al centro de la celda co-canal más cercana (D). Incrementando la relación D/R, aumenta la separación espacial entre la celda co-canal relativa a la distancia de cobertura de la celda. Así la interferencia es reducida debido a la aislación de la energía de RF de la celda co-canal. El parámetro Q, llamado relación de rehusó co-canal, es relacionado con el tamaño de cluster. Para una geometría hexagonal tenemos:

$$Q = D/R = \sqrt{3}N \quad (1)$$

Un valor pequeño de Q proporciona una alta capacidad ya que el cluster de tamaño N es pequeño, mientras que un valor grande de Q proporciona calidad de transmisión, dado que existe un nivel bajo de interferencia co-canal.

Tabla: Relación de re uso co-canal para algunos valores de N

|              | Cluster de tamaño N | Relación de rehusó Co-canal(Q) |
|--------------|---------------------|--------------------------------|
| i = 1, j = 1 | 3                   | 3                              |
| i = 1, j = 2 | 7                   | 4.58                           |
| i = 2, j = 2 | 12                  | 6                              |
| i = 1, j = 3 | 13                  | 6.24                           |

Considerando  $i_0$  el número de celdas co-canales interferentes, tenemos entonces que la relación señal-interferencia para un receptor móvil el cual monitorea un canal adelante (*forward channel*) puede ser expresado como:

$$S/I = S / (S^{i_0} \sum_{i=1} I_i)$$

Donde:

$i_0$ : número de celdas co-canales interferentes.

S: potencia de señal deseada desde la estación base .

$I_i$ : potencia de interferencia causada por la  $i$ -ésima celda co-canal interferente.

"Si el nivel de señal de la celda co-canal es conocida entonces la relación S/I para el enlace directo (*forward link*) puede ser encontrado usando la ecuación anterior."

Las medidas de propagación en un canal de radio móvil muestran que el promedio de la fuerza de la señal recibida en cualquier punto decae

de acuerdo a una ley de potencia que toma en cuenta la separación entre el transmisor y el receptor. El promedio de potencia recibido  $P_r$  a una distancia  $d$  de la antena transmisora es aproximadamente:

$$P_r = P_o(d/d_o)^{-n},$$

que también puede ser expresado como:

$$P_r \text{ (dBm)} = P_o \text{ (dBm)} - 10n \log(d/d_o)$$

Donde:

$P_o$ : potencia recibida desde un punto de referencia en la región de la antena.

$d_o$ : distancia a la antena transmisora.

$n$ : exponente correspondiente a las pérdidas en el camino de propagación.

Ahora consideremos el enlace directo (*forward link*) donde la señal deseada está sirviendo a la estación base y donde la interferencia es debido a la celda co-canal.

Si  $D_i$  es la distancia del  $i$ -ésimo interferente del móvil, la potencia recibida de un móvil dado debido a la  $i$ -ésima celda interferente será proporcional a:

$$(D_i)^{-n}$$

El exponente de pérdida por camino de propagación tiene un rango típico de 2 a 4 en sistemas celulares urbanos.

Cuando la potencia transmitida de cada estación base es igual y el exponente  $n$  es el mismo a través del área de cobertura, la relación S/I para un móvil puede ser aproximado a:

$$S/I = R^n / (S_o \sum_{i=1}^N (D_i)^{-n})$$

Considerando sólo el primer nivel de celdas interferentes, si todas las estaciones bases interferentes son equidistantes de la estación base deseada y si ésta distancia es igual a la distancia  $D$  entre los centros de la celda, la ecuación anterior se puede simplificar de la siguiente manera:

$$S/I = (D/R)^n / i_o = (\sqrt{3}N)^n / i_o$$

La ecuación anterior relaciona S/I al tamaño del cluster  $N$ , el cual determina toda la capacidad del sistema.

## Interferencia del Canal Adyacente

La interferencia resultante de señales que son adyacentes en frecuencia a la señal deseada se llama interferencia de canal adyacente. La interferencia de canal adyacente resulta de imperfecciones en los filtros de recepción que permiten a frecuencias cercanas se filtren en la banda de paso. El problema puede ser particularmente serio si un usuario del canal adyacente está transmitiendo en rango muy cercano al receptor de un suscriptor, mientras el receptor intenta recibir una estación base en el canal deseado. Esto es llamado efecto cerca-lejos, donde un transmisor cercano (qué puede o no puede ser del mismo tipo al usado por el sistema celular) captura al receptor del suscriptor. Alternativamente, el efecto cerca-lejos ocurre cuando un móvil cercano a una estación base transmite sobre un canal adyacente que está siendo ocupado por un móvil de señal débil.

La estación base puede tener dificultad discriminando al usuario móvil deseado del "bleedover" causado por el móvil del canal adyacente cercano.

La interferencia del canal adyacente puede minimizarse a través del filtraje cuidadoso y de la asignación del canal.

Puesto que cada celda tiene sólo una fracción de los canales disponibles, no hay necesidad que a una celda se le asigne canales adyacentes en frecuencia. Guardando la separación de frecuencia entre cada canal en una celda tan grande como sea posible, la interferencia del canal adyacente puede ser reducida considerablemente. Así en lugar de asignar canales los cuales forman una banda contigua de frecuencias dentro de una celda particular, se asignan canales tal que la separación de frecuencia entre los canales en una celda dada se aumente al máximo. Asignando canales sucesivos dentro de la banda de frecuencia para diferentes celdas, muchos esquemas de asignación de canal pueden separar canales adyacentes en una celda por más de  $N$  canales en el ancho de banda, donde  $N$  es el tamaño del cluster. Algunos esquemas de asignación previenen una fuente secundaria de interferencia del canal adyacente evitando el uso de canales adyacentes en sitios de celdas vecinas.

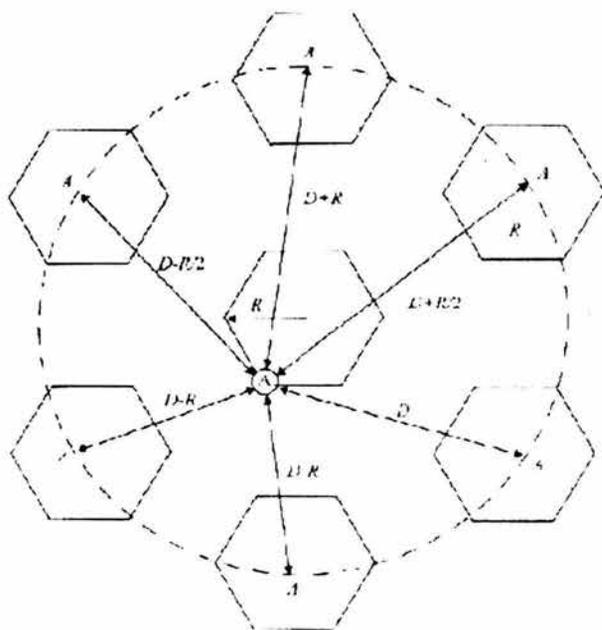
Si el factor de re uso de frecuencia es pequeño, la separación entre los canales adyacentes no puede ser suficiente para guardar el nivel de interferencia del canal adyacente dentro de los límites tolerables. Por ejemplo, si un móvil está 20 veces más cerca de la estación base a otro móvil y tiene componentes de energía fuera de su banda de

paso, la relación señal-interferencia para el móvil con señal débil (antes de ser filtrado por el receptor) es aproximadamente:

$$S/I = (20)^{-n}$$

Para un exponente de pérdida de camino  $n = 4$ , esto es igual a -52 dB. Si el filtro de la frecuencia intermedia (FI) del receptor de la estación base tiene una pendiente de 20 dB, entonces un canal adyacente debe ser desplazado por lo menos seis veces el ancho de banda del pasa banda del centro de la frecuencia y del pasa banda del receptor para lograr 52 dB de atenuación. Aquí, una separación de aproximadamente seis de ancho de banda del canal se requiere para los filtros típicos para proporcionar a 0 dB SIR en un usuario del canal adyacente.

Esto implica que una separación del canal mayor a seis es necesaria para reducir la interferencia del canal adyacente a un nivel aceptable, o se necesitan filtros de mejor respuesta en la estación base cuando usuarios cercanos y distantes comparten la misma célula. En la práctica, cada receptor de la estación base es precedido por un filtro con Q alto de tal manera a rechazar interferencia del canal adyacente.



of the first tier of cochannel cells to a cluster size of  $N=7$ . When the mobile is at t

Celdas Co/canales

## 4.7 Decibeles, Ganancia y Pérdidas de una señal

El decibel se define como un nivel de potencia igual que diez veces el logaritmo común de la relación de potencia dada, con respecto a otra potencia tomada como referencia. O sea, se trata de una unidad logarítmica.

La anterior definición se origina por el hecho de que el oído humano responde de una manera logarítmica a los cambios en la intensidad del sonido. Dicho en otras palabras, un aumento, o una disminución en la intensidad sonora, corresponde a la relación de potencias involucradas y es prácticamente independiente del valor absoluto de dichas potencias.

Por ejemplo, si una determinada persona estima que la intensidad sonora es del doble cuando se aumenta la potencia de un amplificador de 1 a 2 watts, también esa misma persona seguramente estimara que la intensidad sonora producida por un amplificador de 20 watts de potencia es el doble de la producida por otro amplificador con potencia de 10 watts.

Por otro lado, un cambio de un decibel en el nivel de potencia produce una variación en la intensidad sonora apenas discernible por el oído humano en condiciones ideales.

La cantidad de decibeles correspondientes a la relación de dos potencias determinadas está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \left( \frac{E_2^2/R_2}{E_1^2/R_1} \right)$$

Donde  $\frac{P_2}{P_1}$  es la relación de los niveles de potencia que están siendo comparados.

$E_2$  y  $E_1$  son los voltajes de señal que aparecen a través de las respectivas cargas  $R^2$  y  $R^1$ .

Los trenes de ondas periódicas, en cualquiera de sus formas, constituyen señales. En el esquema de la Teoría de Información de Shannon, dichas ondas constituyen, adecuadamente combinadas, el modo de materializar el transporte del mensaje, y por tal motivo las llamamos *la señal*. Es decir, consideramos como *la señal* a todo

conjunto de ondas electromagnéticas que viajan de un emisor a un receptor con el propósito de transportar un mensaje.

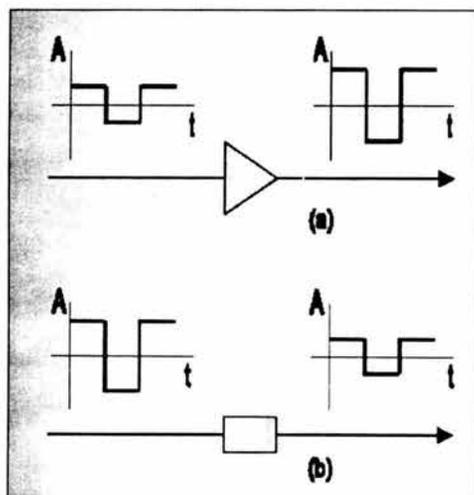
Para hacerlo, una señal atraviesa un conjunto, mayor o menor, de vínculos y de componentes electrónicos activos y pasivos. A tal conjunto, con independencia de su constitución, tamaño y cantidad de componentes, lo llamamos genéricamente *el circuito*.

Los circuitos son capaces mejorar o degradar las señales que los atraviesan.

#### 4.7.1 Circuitos Amplificadores y Atenuadores

Los circuitos pueden ser amplificadores lineales o atenuadores lineales, cuando modifican los parámetros lineales, es decir los que se miden como una amplitud respecto del tiempo. En nuestro caso, habitualmente mediremos como amplitudes respecto del tiempo a la Potencia y a la tensión.

*Circuito amplificador (a) y atenuador (b).*



Un circuito es *amplificador lineal* cuando permite obtener la amplitud de la señal a la salida, amplificada respecto a la entrada. Su simbolización es un triángulo en el sentido de la señal. En la figura anterior se ve un circuito amplificador y la amplitud en función del tiempo a la entrada y a la salida. En la figura anterior podemos ver un *circuito atenuador lineal*. Recibe este nombre cuando en las

mismas condiciones anteriores, los parámetros de amplitud a la salida son menores que a la entrada, y se lo simboliza con un rectángulo.

En ambos circuitos, denotamos  $P_e$ ,  $V_e$  a la potencia y a la tensión a la entrada, y  $P_s$ ,  $V_s$  a la potencia y a la tensión a la salida. Estos circuitos reciben el nombre de lineales porque no alteran el período de la señal que es un parámetro angular, y por lo tanto ni la frecuencia ni la longitud de onda.

En la práctica y salvo contadas excepciones, un circuito amplificador lineal requiere un conjunto de componentes agrupados para que trabajen como tal. Sin embargo, un circuito atenuador puede ser el mismo medio por el que transita la señal, que está atenuando y se comporta como un circuito atenuador lineal, debido a que dicho medio no es ideal.

#### 4.7.2 Relación Ganancia – Pérdida

##### Relación de ganancia.

La *relación de ganancia*, o simplemente la *ganancia* de la señal, se define como el logaritmo en base 10 del cociente entre el valor del parámetro de la señal a la salida respecto a un valor de comparación del mismo parámetro, que puede ser su valor a la entrada del circuito o la unidad. Por ejemplo, el logaritmo del cociente entre la potencia a la salida y la potencia a la entrada.

Como estamos definiendo una ganancia, el cociente es mayor que uno, y el logaritmo es positivo. En tal caso, el circuito es amplificador.

##### Relación de pérdida.

La *relación de pérdida*, o simplemente *pérdida* de la señal, se define en el caso inverso.

Para el cálculo de la pérdida, el cociente está formado al revés, es decir entre el valor del parámetro a la entrada y a la salida, nunca la unidad. En tal caso, nuevamente el cociente será mayor que uno, y el valor del logaritmo será positivo. Pero como el cociente está invertido, el resultado recibe el nombre de Pérdida y el circuito es atenuador.

## **Sobre las unidades y los signos.**

En todas las relaciones, se debe operar en unidades homogéneas, por ejemplo: vatios (W) o milivatios (mW) para potencia y voltios (V), milivoltios (mV) o microvoltios ( $\mu\text{V}$ ) para tensión.

Respecto a los signos, hay que tener presente que tanto la Ganancia como la Pérdida (ambas) pueden tener valores positivos o negativos.<sup>7</sup>

Cuando se calcula una ganancia como tal (salida respecto a la entrada) se espera un valor positivo.

Cuando el cálculo de una ganancia arroja un valor negativo, estamos en presencia de una pérdida. Ello se verifica cuando habiendo planteado el cociente como salida / entrada, el cociente es menor que uno y el logaritmo es negativo. Esto significa que el parámetro medido tenía mayor valor a la entrada. Por eso el resultado es negativo y el valor de ganancia expresa una pérdida. De hecho, el circuito supuestamente amplificador está atenuando.

Cuando se calcula una pérdida como tal (entrada respecto a la salida) se espera un valor positivo.

Cuando el cálculo de una pérdida arroja un valor negativo, estamos en presencia de una ganancia. Ello sucede cuando habiendo planteado el cociente como entrada / salida, el cociente es menor que la unidad y el logaritmo es negativo. Esto significa que el parámetro medido tenía mayor valor a la salida que a la entrada, por eso el resultado es negativo y el valor de pérdida expresa una ganancia. En este caso, el circuito supuestamente atenuador está amplificando.

Lo que de hecho no es calculable es que el cociente en sí tenga valor negativo porque como se recordará no pueden calcularse los logaritmos de números negativos, si recordamos la curva de una función logarítmica.

Las relaciones de ganancias y pérdidas, se miden en distintas unidades de medidas, según nuestra conveniencia y las necesidades de cada caso, y en definitiva expresan mediciones relativas o absolutas.

### 4.7.3 Tipos de Mediciones

#### Mediciones relativas

Las mediciones son relativas cuando usan el cociente entre salida y entrada para medir la ganancia del circuito.

En tal caso, la unidad es el decibelio y se denota dB. Esto arroja números más pequeños para trabajar y por esa razón se la multiplica por diez, recibiendo así el nombre de decibel.

La ganancia como relación entre las potencias se expresa por:

$$G \text{ (dB)} = 10 \times \log(P_s / P_e)$$

Y se le suele llamar también *ganancia para la relación de potencias*.

Expresando la relación de ganancia como una relación de tensiones o de corrientes, tal que:

$$G \text{ (dB)} = 20 \times \log(V_s / V_e)$$

De la misma manera podemos expresar la relación de pérdida o *pérdida* como la menos ganancia, siendo la relación logarítmica:

$$P \text{ (dB)} = -G \text{ (dB)} = 10 \times \log(P_e / P_s)$$

#### Mediciones absolutas.

La ganancia absoluta es una forma de medir un parámetro no en modo relativo, es decir un punto respecto a otro, sino en modo absoluto, es decir el valor del parámetro en un punto dado pero con unidades logarítmicas. Es decir que, a pesar de su nombre, técnicamente no es una ganancia, o más claramente es una ganancia respecto a la unidad patrón.

Los dos tipos de ganancia, en potencia y en tensión, pueden medirse de manera absoluta. Cada una de éstas puede usar varias unidades distintas. Lo importante, para todas ellas, es entender que cuando medimos ganancia absoluta, medimos en un punto cualquiera de nuestro interés y respecto a una unidad. No en la salida y comparado con la entrada o viceversa.

#### 4.7.4 Nivel de potencia y Nivel de Voltaje del Sistema

Se ha mostrado previamente que ese dB es una manera conveniente de expresar el ratio entre dos señales con respecto al voltaje de potencia. La definición puede, sin embargo, se use para expresar la potencia absoluta o el nivel de voltaje si una referencia fija es usada.

$$\text{Nivel de Potencia: } L_p = 10 \log ( P / P_{ref} )$$

$$\text{Nivel de Voltaje: } L_u = 20 \log ( U / U_{ref} )$$

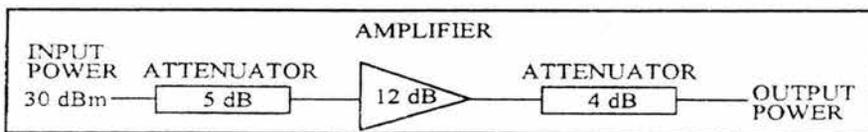
Diferentes niveles de referencia pueden usarse:

|           |                            |                                 |            |
|-----------|----------------------------|---------------------------------|------------|
| Potencia: | $P_{ref} = 1 \text{ W}$    | $L_p = 10 \log ( P / 1 )$       | dBW        |
|           | $P_{ref} = 1 \text{ mW}$   | $L_p = 10 \log ( P / 10^{-3} )$ | dBm        |
| Voltaje:  | $U_{ref} = 775 \text{ mV}$ | $L_p = 20 \log ( U / 0.775 )$   | dBu        |
|           | $U_{ref} = 1 \mu\text{V}$  | $L_p = 20 \log ( U / 10^{-6} )$ | dB $\mu$ V |

La razón por qué el nivel de voltaje de 776 mV se usa como una referencia es el que cuando se alimenta una resistencia de 600  $\Omega$ , causa una dispersión de potencia de 1 mW. Esto significa que el nivel de potencia en el dBm iguala los niveles de voltaje en el dBu medido con una resistencia de 600  $\Omega$

#### Sumas de Ganancias y Pérdidas

Una ventaja de usar decibeles para representar ganancias y pérdidas es que envuelve operaciones como multiplicaciones y divisiones que pueden ser ahora convertidas en operaciones de sumas y restas. Ganancias y pérdidas en un sistema puede ser sumadas de la potencia de entrada para determinar la potencia de salida.



El circuito consiste de dos atenuadores con una pérdida combinada de 9 dB y un amplificador con una ganancia de 12 dB, con estos valores se puede calcular la potencia de salida en watts.

$$P_{\text{out}} \text{ (dBm)} = 30 \text{ dBm} - 5 \text{ dB} - 4 \text{ dB} + 12 \text{ dB} = 33 \text{ dBm}$$

$$33 \text{ dBm} = 10 \log (P_{\text{out}} / 10^{-3})$$

Tomando el anti-logaritmo se la ecuación previa obtenemos el siguiente resultado:

$$P_{\text{out}} \text{ (W)} = 10^{(33 / 10)} \times 10^{-3} = 2 \text{ W}$$

## Conclusiones Generales

No cabe la menor duda que el estándar dominante en la industria de la telefonía móvil inalámbrica es GSM, monopolizando el mercado europeo, con una penetración en Asia, Australia y pronto tendrá una gran penetración en Latinoamérica y en territorio mexicano con el operador de telefonía móvil Telcel, que cuenta con un 70% del mercado mexicano y el reciente ingreso de Telefónica Móvil, el paso migratorio que mas se desplegara en el globo terráqueo será el basado en este estándar.

Una competencia cada vez mas intensa es una de las fuerzas que impulsaran el cambio en la industria de las telecomunicaciones. El éxito de los operadores de redes depende de su capacidad de desarrollar planificaciones de redes celulares perfeccionadas lo más posible para cumplir con la demanda de los servicios y soluciones revolucionarias.

La elección de la tecnología del interfaz aire para conectar las Radio Bases ó BTS y abonados, es un factor determinante para hacer realidad las plenas posibilidades de este futuro panorama inalámbrico de la Tercera Generación. La elección debe de tener en cuenta los principales intereses de los operadores de redes digitales de hoy, de los usuarios finales y de la industria de las telecomunicaciones en general. Lo mejor que podemos hacer es planificar una estructura celular flexible, sólida y lo suficientemente poderosa como para asumir el cambio

El GSM se perfeccionará para que ofrezca una capacidad, cobertura, calidad y velocidad de transmisión de datos aún mayor, se prevé una serie de perfeccionamientos que mejoraran las funciones de las redes de GSM y será la base para la tercera generación de móviles.

La infraestructura será construida también alrededor de la tecnología de Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS) que introduce datos por paquetes en el sistema GSM. En GSM, la intensidad de campo para una llamada estándar con una calidad de voz aceptable debe ser de por lo menos 8 ó 9 dbm, sin embargo la intensidad de la señal de GPRS solo necesita ser de 5 ó 6 dbm para enviar datos por paquetes. La adición de GPRS a GSM es básicamente un perfeccionamiento. Los sistemas de Tercera Generación ofrecerán servicios completamente nuevos y velocidades de transmisión que son más de 100 veces más rápidas que los sistemas actuales. Estas velocidades se traduce a cargas rápidas de

Internet y servicios rápidos y prácticos de correo electrónico e inclusive la transmisión de imágenes en tiempo real.

A fin de satisfacer las exigencias sobre los servicios del mercado masivo, se tiene que concentrar en el desarrollo de sistemas en una explotación eficiente de los medios de transmisión y del espectro, así como en una capacidad incrementada. Por medio de soluciones de tecnología de punta tales como el re uso denso de frecuencias, tecnología avanzadas de antenas, saltos de frecuencias y estructuras jerárquicas de células.

En las redes de futuras generaciones, los servicios de voz serán solo una de muchas opciones ofrecidas para mantener el flujo de ingresos de los operadores. Los sistemas de telecomunicaciones móviles universales de tercera generación UMTS serán ambientes de múltiples servicios, capaces de manejar varias combinaciones de tráfico para satisfacer las necesidades de calidad y servicio de los usuarios.

La parte más importante de la planificación de redes celulares es evaluar adecuadamente los lugares adecuados, siempre se debe hacer una evaluación apropiada de los sitios individuales, incluyendo visitas a las instalaciones, estudios de herramientas de planificación, revisiones de carpetas de instalaciones ya existentes y estadísticas. Al hacer eso, se aporta de manera significativa al proceso de planificación e implementación de redes celulares, y de esa manera se asegura un avance a la transición de las siguientes generaciones de sistemas de telecomunicaciones.



# APÉNDICE A

## Referencias

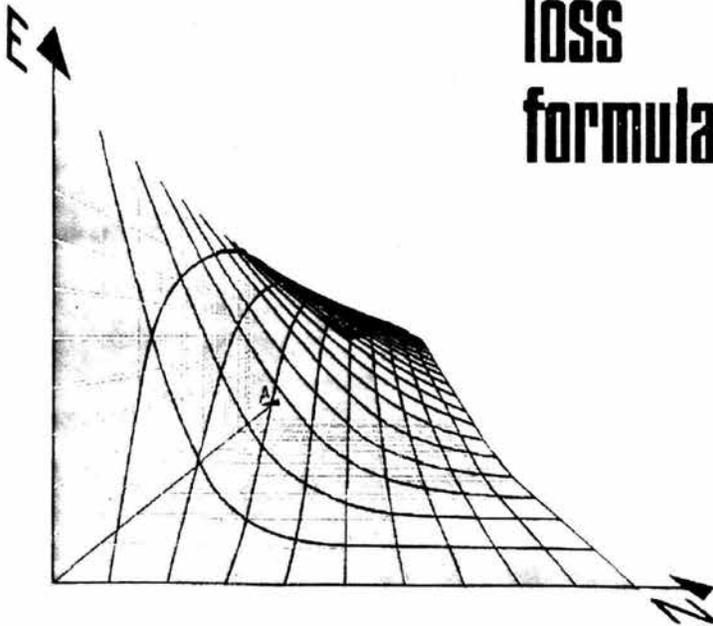


## Referencias

| No. De Referencia | Página | Fuente   |
|-------------------|--------|--|
| 1                 | 1      | Párrafo No. 26 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (U.I.T.)  |
| 2                 | 15     | Dirección General de Tarifas e Integración Estadística, <b>COFETEL</b> con información proporcionada por los concesionarios.   |
| 3                 | 33     | Hernan Dario Afanador Macias. <i>Aspectos de importancia estratégica y de planeación para la implementación de la tercera generación de sistemas móviles inalámbricos</i> . Colombia, 2000   |
| 4                 | 34     | Flavio Muratore, UMTS Mobile Communications for the Future. John Wiley & Sons, 2001  |
| 5                 | 81     | Dahlsjo, O. Antenna Research and Development at Ericsson, IEE Antennas and Propagation Magazine 32, 1998   |
| 6                 | 103    | La zona fresnel es un área totalmente libre para la correcta propagación de las radio microondas, algunas consideraciones de los grados del fresnel son requeridos en el vaticinio inmediato de las radio microondas RF sobre / campo. |
| 7                 | 116    | Claude Elwood Shannon, ingeniero y matemático estadounidense, 1916-1999  |

# APÉNDICE B

erlang  
loss  
formula



n = 1 - 51

## Offered traffic flow A in erlang

| n                    | Loss Probability (E) |        |        |        |        |        |        |        |        | n      |      |
|----------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
|                      | .00001               | .00005 | .0001  | .0005  | .001   | .002   | .003   | .004   | .005   |        | .006 |
| 1                    | .00001               | .00005 | .00010 | .00050 | .00100 | .00200 | .00301 | .00402 | .00503 | .00604 | 1    |
| 2                    | .00448               | .01005 | .01424 | .03213 | .04576 | .06534 | .08064 | .09373 | .10540 | .11608 | 2    |
| 3                    | .03967               | .06849 | .08682 | .15170 | .19384 | .24872 | .28851 | .32099 | .34900 | .37395 | 3    |
| 4                    | .12853               | .19544 | .23471 | .36235 | .43927 | .53503 | .60209 | .65568 | .70120 | .74124 | 4    |
| 5                    | .27526               | .38848 | .45195 | .64857 | .76211 | .89986 | .99446 | 1.0692 | 1.1320 | 1.1870 | 5    |
| 6                    | .47589               | .63922 | .72822 | .99566 | 1.1459 | 1.3252 | 1.4468 | 1.5421 | 1.6218 | 1.6912 | 6    |
| 7                    | .72365               | .93919 | 1.0541 | 1.3922 | 1.5786 | 1.7984 | 1.9463 | 2.0614 | 2.1575 | 2.2408 | 7    |
| 8                    | 1.0132               | 1.2812 | 1.4219 | 1.8297 | 2.0513 | 2.3105 | 2.4837 | 2.6181 | 2.7299 | 2.8266 | 8    |
| 9                    | 1.3391               | 1.6593 | 1.8256 | 2.3016 | 2.5575 | 2.8549 | 3.0526 | 3.2056 | 3.3326 | 3.4422 | 9    |
| 10                   | 1.6970               | 2.0688 | 2.2601 | 2.8028 | 3.0920 | 3.4265 | 3.6480 | 3.8190 | 3.9607 | 4.0829 | 10   |
| 11                   | 2.0831               | 2.5058 | 2.7216 | 3.3294 | 3.6511 | 4.0215 | 4.2661 | 4.4545 | 4.6104 | 4.7447 | 11   |
| 12                   | 2.4944               | 2.9670 | 3.2069 | 3.8781 | 4.2314 | 4.6368 | 4.9038 | 5.1092 | 5.2789 | 5.4250 | 12   |
| 13                   | 2.9283               | 3.4499 | 3.7133 | 4.4465 | 4.8305 | 5.2700 | 5.5588 | 5.7807 | 5.9638 | 6.1214 | 13   |
| 14                   | 3.3826               | 3.9522 | 4.2387 | 5.0324 | 5.4464 | 5.9190 | 6.2290 | 6.4670 | 6.6632 | 6.8320 | 14   |
| 15                   | 3.8553               | 4.4721 | 4.7811 | 5.6339 | 6.0772 | 6.5822 | 6.9129 | 7.1665 | 7.3755 | 7.5552 | 15   |
| 16                   | 4.3448               | 5.0079 | 5.3389 | 6.2496 | 6.7215 | 7.2582 | 7.6091 | 7.8780 | 8.0995 | 8.2898 | 16   |
| 17                   | 4.8498               | 5.5582 | 5.9109 | 6.8782 | 7.3781 | 7.9457 | 8.3164 | 8.6003 | 8.8340 | 9.0347 | 17   |
| 18                   | 5.3690               | 6.1220 | 6.4958 | 7.5186 | 8.0459 | 8.6437 | 9.0339 | 9.3324 | 9.5780 | 9.7889 | 18   |
| 19                   | 5.9013               | 6.6980 | 7.0927 | 8.1698 | 8.7239 | 9.3514 | 9.7606 | 10.073 | 10.331 | 10.552 | 19   |
| 20                   | 6.4458               | 7.2854 | 7.7005 | 8.8310 | 9.4115 | 10.068 | 10.496 | 10.823 | 11.092 | 11.322 | 20   |
| 21                   | 7.0015               | 7.8834 | 8.3186 | 9.5014 | 10.108 | 10.793 | 11.239 | 11.580 | 11.860 | 12.100 | 21   |
| 22                   | 7.5679               | 8.4913 | 8.9462 | 10.180 | 10.812 | 11.525 | 11.989 | 12.344 | 12.635 | 12.885 | 22   |
| 23                   | 8.1441               | 9.1084 | 9.5826 | 10.868 | 11.524 | 12.265 | 12.746 | 13.114 | 13.416 | 13.676 | 23   |
| 24                   | 8.7297               | 9.7341 | 10.227 | 11.562 | 12.243 | 13.011 | 13.510 | 13.891 | 14.204 | 14.472 | 24   |
| 25                   | 9.3239               | 10.368 | 10.880 | 12.264 | 12.969 | 13.763 | 14.279 | 14.673 | 14.997 | 15.274 | 25   |
| 26                   | 9.934                | 11.009 | 11.540 | 12.972 | 13.701 | 14.522 | 15.054 | 15.461 | 15.795 | 16.081 | 26   |
| 27                   | 10.557               | 11.658 | 12.207 | 13.686 | 14.439 | 15.285 | 15.835 | 16.254 | 16.598 | 16.893 | 27   |
| 28                   | 11.194               | 12.314 | 12.880 | 14.406 | 15.182 | 16.054 | 16.620 | 17.051 | 17.406 | 17.709 | 28   |
| 29                   | 11.779               | 12.976 | 13.560 | 15.132 | 15.930 | 16.828 | 17.410 | 17.853 | 18.218 | 18.530 | 29   |
| 30                   | 12.410               | 13.644 | 14.246 | 15.863 | 16.684 | 17.606 | 18.204 | 18.660 | 19.034 | 19.355 | 30   |
| 31                   | 13.048               | 14.318 | 14.937 | 16.599 | 17.442 | 18.389 | 19.002 | 19.470 | 19.854 | 20.183 | 31   |
| 32                   | 13.691               | 14.997 | 15.633 | 17.340 | 18.205 | 19.176 | 19.805 | 20.284 | 20.678 | 21.015 | 32   |
| 33                   | 14.341               | 15.682 | 16.335 | 18.085 | 18.972 | 19.966 | 20.611 | 21.102 | 21.505 | 21.850 | 33   |
| 34                   | 14.995               | 16.372 | 17.041 | 18.835 | 19.743 | 20.761 | 21.421 | 21.923 | 22.336 | 22.689 | 34   |
| 35                   | 15.655               | 17.067 | 17.752 | 19.589 | 20.517 | 21.559 | 22.234 | 22.748 | 23.169 | 23.531 | 35   |
| 36                   | 16.321               | 17.766 | 18.468 | 20.346 | 21.296 | 22.361 | 23.050 | 23.575 | 24.006 | 24.376 | 36   |
| 37                   | 16.990               | 18.470 | 19.188 | 21.108 | 22.078 | 23.166 | 23.870 | 24.406 | 24.846 | 25.223 | 37   |
| 38                   | 17.665               | 19.178 | 19.911 | 21.873 | 22.864 | 23.974 | 24.692 | 25.240 | 25.689 | 26.074 | 38   |
| 39                   | 18.344               | 19.890 | 20.639 | 22.642 | 23.652 | 24.785 | 25.518 | 26.076 | 26.534 | 26.926 | 39   |
| 40                   | 19.027               | 20.606 | 21.371 | 23.414 | 24.444 | 25.599 | 26.346 | 26.915 | 27.382 | 27.782 | 40   |
| 41                   | 19.715               | 21.326 | 22.106 | 24.189 | 25.239 | 26.416 | 27.177 | 27.756 | 28.232 | 28.640 | 41   |
| 42                   | 20.406               | 22.049 | 22.845 | 24.967 | 26.037 | 27.235 | 28.010 | 28.600 | 29.085 | 29.500 | 42   |
| 43                   | 21.101               | 22.776 | 23.587 | 25.748 | 26.837 | 28.057 | 28.846 | 29.447 | 29.940 | 30.362 | 43   |
| 44                   | 21.800               | 23.507 | 24.332 | 26.532 | 27.641 | 28.882 | 29.684 | 30.295 | 30.797 | 31.227 | 44   |
| 45                   | 22.503               | 24.240 | 25.080 | 27.319 | 28.447 | 29.708 | 30.525 | 31.146 | 31.656 | 32.093 | 45   |
| 46                   | 23.209               | 24.977 | 25.832 | 28.109 | 29.255 | 30.538 | 31.367 | 31.999 | 32.517 | 32.962 | 46   |
| 47                   | 23.918               | 25.717 | 26.586 | 28.901 | 30.066 | 31.369 | 32.212 | 32.854 | 33.381 | 33.832 | 47   |
| 48                   | 24.631               | 26.460 | 27.343 | 29.696 | 30.879 | 32.203 | 33.059 | 33.711 | 34.246 | 34.704 | 48   |
| 49                   | 25.346               | 27.206 | 28.103 | 30.493 | 31.694 | 33.039 | 33.908 | 34.570 | 35.113 | 35.578 | 49   |
| 50                   | 26.065               | 27.954 | 28.866 | 31.292 | 32.512 | 33.876 | 34.759 | 35.431 | 35.982 | 36.454 | 50   |
| 51                   | 26.787               | 28.706 | 29.631 | 32.094 | 33.332 | 34.716 | 35.611 | 36.293 | 36.852 | 37.331 | 51   |
| n                    | .00001               | .00005 | .0001  | .0005  | .001   | .002   | .003   | .004   | .005   | .006   | n    |
| Loss Probability (E) |                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |

Offered traffic flow A in erlang

| n                    | Loss Probability (E) |        |        |        |        |        |        |        |        | n      |    |
|----------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|                      | .007                 | .008   | .009   | .01    | .02    | .03    | .05    | .1     | .2     |        | .4 |
| 1                    | .00705               | .00806 | .00908 | .01010 | .02041 | .03093 | .05263 | .11111 | .25000 | .66667 | 1  |
| 2                    | .12800               | .13532 | .14416 | .15259 | .22347 | .28155 | .38132 | .59543 | 1.0000 | 2.0000 | 2  |
| 3                    | .39864               | .41757 | .43711 | .45549 | .60221 | .71513 | .89940 | 1.2708 | 1.9299 | 3.4798 | 3  |
| 4                    | .77729               | .81029 | .84085 | .86942 | 1.0923 | 1.2589 | 1.5246 | 2.0454 | 2.9452 | 5.0210 | 4  |
| 5                    | 1.2362               | 1.2810 | 1.3223 | 1.3608 | 1.6571 | 1.8752 | 2.2185 | 2.8811 | 4.0104 | 6.5955 | 5  |
| 6                    | 1.7531               | 1.8093 | 1.8610 | 1.9090 | 2.2759 | 2.5431 | 2.9603 | 3.7584 | 5.1086 | 8.1907 | 6  |
| 7                    | 2.3149               | 2.3820 | 2.4437 | 2.5009 | 2.9354 | 3.2497 | 3.7378 | 4.6662 | 6.2302 | 9.7998 | 7  |
| 8                    | 2.9125               | 2.9902 | 3.0615 | 3.1276 | 3.6271 | 3.9865 | 4.5430 | 5.5971 | 7.3692 | 11.419 | 8  |
| 9                    | 3.5395               | 3.6274 | 3.7080 | 3.7825 | 4.3447 | 4.7479 | 5.3702 | 6.5464 | 8.5217 | 13.045 | 9  |
| 10                   | 4.1911               | 4.2889 | 4.3784 | 4.4612 | 5.0840 | 5.5294 | 6.2157 | 7.5106 | 9.6850 | 14.677 | 10 |
| 11                   | 4.8637               | 4.9709 | 5.0691 | 5.1599 | 5.8415 | 6.3280 | 7.0764 | 8.4871 | 10.857 | 16.314 | 11 |
| 12                   | 5.5543               | 5.6708 | 5.7774 | 5.8760 | 6.6147 | 7.1410 | 7.9501 | 9.4740 | 12.036 | 17.954 | 12 |
| 13                   | 6.2607               | 6.3863 | 6.5011 | 6.6072 | 7.4015 | 7.9667 | 8.8349 | 10.470 | 13.222 | 19.598 | 13 |
| 14                   | 6.9811               | 7.1154 | 7.2382 | 7.3517 | 8.2003 | 8.8035 | 9.7295 | 11.473 | 14.413 | 21.243 | 14 |
| 15                   | 7.7139               | 7.8568 | 7.9874 | 8.1080 | 9.0096 | 9.6500 | 10.633 | 12.484 | 15.608 | 22.891 | 15 |
| 16                   | 8.4579               | 8.6092 | 8.7474 | 8.8750 | 9.8284 | 10.505 | 11.544 | 13.500 | 16.807 | 24.541 | 16 |
| 17                   | 9.2119               | 9.3714 | 9.5171 | 9.6516 | 10.656 | 11.368 | 12.461 | 14.522 | 18.010 | 26.192 | 17 |
| 18                   | 9.9751               | 10.143 | 10.296 | 10.437 | 11.491 | 12.238 | 13.385 | 15.548 | 19.216 | 27.844 | 18 |
| 19                   | 10.747               | 10.922 | 11.082 | 11.230 | 12.333 | 13.115 | 14.315 | 16.579 | 20.424 | 29.498 | 19 |
| 20                   | 11.526               | 11.709 | 11.876 | 12.031 | 13.182 | 13.997 | 15.249 | 17.613 | 21.635 | 31.152 | 20 |
| 21                   | 12.312               | 12.503 | 12.677 | 12.838 | 14.036 | 14.885 | 16.189 | 18.651 | 22.848 | 32.808 | 21 |
| 22                   | 13.105               | 13.303 | 13.484 | 13.651 | 14.896 | 15.778 | 17.132 | 19.692 | 24.064 | 34.464 | 22 |
| 23                   | 13.904               | 14.110 | 14.297 | 14.470 | 15.761 | 16.675 | 18.080 | 20.737 | 25.281 | 36.121 | 23 |
| 24                   | 14.709               | 14.922 | 15.116 | 15.295 | 16.631 | 17.577 | 19.031 | 21.784 | 26.499 | 37.779 | 24 |
| 25                   | 15.519               | 15.739 | 15.939 | 16.125 | 17.505 | 18.483 | 19.985 | 22.833 | 27.720 | 39.437 | 25 |
| 26                   | 16.334               | 16.561 | 16.768 | 16.959 | 18.383 | 19.392 | 20.943 | 23.885 | 28.941 | 41.096 | 26 |
| 27                   | 17.153               | 17.387 | 17.601 | 17.797 | 19.285 | 20.305 | 21.904 | 24.939 | 30.164 | 42.755 | 27 |
| 28                   | 17.977               | 18.218 | 18.438 | 18.640 | 20.150 | 21.221 | 22.867 | 25.995 | 31.388 | 44.414 | 28 |
| 29                   | 18.805               | 19.053 | 19.279 | 19.487 | 21.039 | 22.140 | 23.833 | 27.053 | 32.614 | 46.074 | 29 |
| 30                   | 19.637               | 19.891 | 20.123 | 20.337 | 21.932 | 23.062 | 24.802 | 28.113 | 33.840 | 47.735 | 30 |
| 31                   | 20.473               | 20.734 | 20.972 | 21.191 | 22.827 | 23.987 | 25.773 | 29.174 | 35.067 | 49.395 | 31 |
| 32                   | 21.312               | 21.580 | 21.823 | 22.048 | 23.725 | 24.914 | 26.746 | 30.237 | 36.295 | 51.056 | 32 |
| 33                   | 22.155               | 22.429 | 22.678 | 22.909 | 24.626 | 25.844 | 27.721 | 31.301 | 37.524 | 52.718 | 33 |
| 34                   | 23.001               | 23.281 | 23.536 | 23.772 | 25.529 | 26.776 | 28.698 | 32.367 | 38.754 | 54.379 | 34 |
| 35                   | 23.849               | 24.136 | 24.397 | 24.638 | 26.435 | 27.711 | 29.677 | 33.434 | 39.985 | 56.041 | 35 |
| 36                   | 24.701               | 24.994 | 25.261 | 25.507 | 27.343 | 28.647 | 30.657 | 34.503 | 41.216 | 57.703 | 36 |
| 37                   | 25.556               | 25.854 | 26.127 | 26.378 | 28.254 | 29.585 | 31.640 | 35.572 | 42.448 | 59.365 | 37 |
| 38                   | 26.413               | 26.718 | 26.996 | 27.252 | 29.166 | 30.526 | 32.624 | 36.643 | 43.680 | 61.028 | 38 |
| 39                   | 27.272               | 27.583 | 27.867 | 28.129 | 30.081 | 31.468 | 33.609 | 37.715 | 44.913 | 62.690 | 39 |
| 40                   | 28.134               | 28.451 | 28.741 | 29.007 | 30.997 | 32.412 | 34.596 | 38.787 | 46.147 | 64.353 | 40 |
| 41                   | 28.999               | 29.322 | 29.616 | 29.888 | 31.916 | 33.357 | 35.584 | 39.861 | 47.381 | 66.016 | 41 |
| 42                   | 29.866               | 30.194 | 30.494 | 30.771 | 32.836 | 34.305 | 36.574 | 40.936 | 48.616 | 67.679 | 42 |
| 43                   | 30.734               | 31.069 | 31.374 | 31.656 | 33.758 | 35.253 | 37.565 | 42.011 | 49.851 | 69.342 | 43 |
| 44                   | 31.605               | 31.946 | 32.256 | 32.543 | 34.682 | 36.203 | 38.557 | 43.088 | 51.086 | 71.006 | 44 |
| 45                   | 32.478               | 32.824 | 33.140 | 33.432 | 35.607 | 37.155 | 39.550 | 44.165 | 52.322 | 72.669 | 45 |
| 46                   | 33.353               | 33.705 | 34.026 | 34.322 | 36.534 | 38.108 | 40.545 | 45.243 | 53.559 | 74.333 | 46 |
| 47                   | 34.230               | 34.587 | 34.913 | 35.215 | 37.462 | 39.062 | 41.540 | 46.322 | 54.796 | 75.997 | 47 |
| 48                   | 35.108               | 35.471 | 35.803 | 36.109 | 38.392 | 40.018 | 42.537 | 47.401 | 56.033 | 77.660 | 48 |
| 49                   | 35.988               | 36.357 | 36.694 | 37.004 | 39.323 | 40.975 | 43.534 | 48.481 | 57.270 | 79.324 | 49 |
| 50                   | 36.870               | 37.245 | 37.586 | 37.901 | 40.255 | 41.933 | 44.533 | 49.562 | 58.508 | 80.988 | 50 |
| 51                   | 37.754               | 38.134 | 38.480 | 38.800 | 41.189 | 42.892 | 45.533 | 50.644 | 59.746 | 82.652 | 51 |
| n                    | .007                 | .008   | .009   | .01    | .02    | .03    | .05    | .1     | .2     | .4     | n  |
| Loss Probability (E) |                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |

n = 1 - 10

A = 0.01 - 0.51

## Loss probability

| A    | Number of devices N |           |           |           |           |           |           |           |           |           | A    |
|------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
|      | 1                   | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |      |
| 0.01 | .990099-2           | .495025-4 | .165008-6 | .412521-9 |           |           |           |           |           |           | 0.01 |
| 0.02 | .196078-1           | .196040-3 | .130693-5 | .653486-8 |           |           |           |           |           |           | 0.02 |
| 0.03 | .291262-1           | .436702-3 | .436701-5 | .327525-7 | .196515-9 |           |           |           |           |           | 0.03 |
| 0.04 | .384615-1           | .768640-3 | .102484-4 | .102484-6 | .819874-9 |           |           |           |           |           | 0.04 |
| 0.05 | .476190-1           | .118906-2 | .198173-4 | .247716-6 | .247716-8 |           |           |           |           |           | 0.05 |
| 0.06 | .566038-1           | .169523-2 | .339035-4 | .508553-6 | .610263-8 |           |           |           |           |           | 0.06 |
| 0.07 | .654206-1           | .228449-2 | .533019-4 | .932782-6 | .130590-7 | .152354-9 |           |           |           |           | 0.07 |
| 0.08 | .740741-1           | .295421-2 | .787727-4 | .157545-5 | .252072-7 | .336096-9 |           |           |           |           | 0.08 |
| 0.09 | .825688-1           | .370184-2 | .111043-3 | .249846-5 | .449723-7 | .674584-9 |           |           |           |           | 0.09 |
| 0.10 | .909091-1           | .452489-2 | .150807-3 | .377016-5 | .754031-7 | .125672-8 |           |           |           |           | 0.10 |
| 0.11 | .990991-1           | .542090-2 | .198727-3 | .546496-5 | .120229-6 | .220420-8 |           |           |           |           | 0.11 |
| 0.12 | .107143             | .638751-2 | .255435-3 | .766299-5 | .183912-6 | .367824-8 |           |           |           |           | 0.12 |
| 0.13 | .115044             | .742237-2 | .321533-3 | .104497-4 | .271692-6 | .588667-8 | .109324-9 |           |           |           | 0.13 |
| 0.14 | .122807             | .852322-2 | .397592-3 | .139155-4 | .389635-6 | .909148-8 | .181830-9 |           |           |           | 0.14 |
| 0.15 | .130435             | .968784-2 | .484157-3 | .181556-4 | .544667-6 | .136167-7 | .291786-9 |           |           |           | 0.15 |
| 0.16 | .137931             | .109141-1 | .581744-3 | .232692-4 | .744615-6 | .198564-7 | .453860-9 |           |           |           | 0.16 |
| 0.17 | .145299             | .121998-1 | .890842-3 | .293599-4 | .998236-6 | .282834-7 | .686882-9 |           |           |           | 0.17 |
| 0.18 | .152542             | .135429-1 | .811913-3 | .365348-4 | .131525-5 | .394575-7 | .101462-8 |           |           |           | 0.18 |
| 0.19 | .159664             | .149414-1 | .945396-3 | .449043-4 | .170636-5 | .540348-7 | .146666-8 |           |           |           | 0.19 |
| 0.20 | .166667             | .163934-1 | .109170-2 | .545822-4 | .218328-5 | .727761-7 | .207932-8 |           |           |           | 0.20 |
| 0.21 | .173554             | .178970-1 | .125122-2 | .656849-4 | .275876-5 | .965565-7 | .289669-8 |           |           |           | 0.21 |
| 0.22 | .180328             | .194502-1 | .142432-2 | .783315-4 | .344657-5 | .126374-6 | .397176-8 | .109224-9 |           |           | 0.22 |
| 0.23 | .186992             | .210514-1 | .161134-2 | .926434-4 | .426158-5 | .163360-6 | .536756-8 | .154317-9 |           |           | 0.23 |
| 0.24 | .193548             | .226986-1 | .181260-2 | .108744-3 | .521969-5 | .208787-6 | .715843-8 | .214753-9 |           |           | 0.24 |
| 0.25 | .200000             | .243902-1 | .202840-2 | .126759-3 | .633790-5 | .264079-6 | .943139-8 | .294731-9 |           |           | 0.25 |
| 0.26 | .206349             | .261246-1 | .225902-2 | .146815-3 | .763430-5 | .330819-6 | .122876-7 | .399346-9 |           |           | 0.26 |
| 0.27 | .212598             | .279000-1 | .250471-2 | .169040-3 | .912806-5 | .410762-6 | .158437-7 | .534724-9 |           |           | 0.27 |
| 0.28 | .218750             | .297150-1 | .276573-2 | .193563-3 | .108394-4 | .505840-6 | .202336-7 | .708176-9 |           |           | 0.28 |
| 0.29 | .224806             | .315679-1 | .304228-2 | .220517-3 | .127898-4 | .618173-6 | .256100-7 | .928364-9 |           |           | 0.29 |
| 0.30 | .230769             | .334572-1 | .333457-2 | .250030-3 | .150016-4 | .750078-6 | .321462-7 | .120548-8 |           |           | 0.30 |
| 0.31 | .236641             | .353816-1 | .364278-2 | .282236-3 | .174983-4 | .904079-6 | .400378-7 | .155146-8 |           |           | 0.31 |
| 0.32 | .242424             | .373396-1 | .396709-2 | .317266-3 | .203046-4 | .108291-5 | .495045-7 | .198018-8 |           |           | 0.32 |
| 0.33 | .248120             | .393297-1 | .430763-2 | .355253-3 | .234462-4 | .128954-5 | .607925-7 | .250769-8 |           |           | 0.33 |
| 0.34 | .253731             | .413507-1 | .486455-2 | .396330-3 | .269497-4 | .152715-5 | .741757-7 | .315247-8 | .119093-9 |           | 0.34 |
| 0.35 | .259259             | .434012-1 | .503797-2 | .440628-3 | .308430-4 | .179917-5 | .899586-7 | .393569-8 | .153055-9 |           | 0.35 |
| 0.36 | .264706             | .454801-1 | .542798-2 | .488280-3 | .351549-4 | .210929-5 | .108478-6 | .488150-8 | .195260-9 |           | 0.36 |
| 0.37 | .270033             | .475859-1 | .583469-2 | .539418-3 | .399153-4 | .246144-5 | .130105-6 | .601734-8 | .247379-9 |           | 0.37 |
| 0.38 | .275362             | .497177-1 | .625816-2 | .594172-3 | .451550-4 | .285981-5 | .155247-6 | .737422-8 | .311356-9 |           | 0.38 |
| 0.39 | .280578             | .518741-1 | .669846-2 | .652673-3 | .509059-4 | .330888-5 | .184352-6 | .898714-8 | .389443-9 |           | 0.39 |
| 0.40 | .285714             | .540541-1 | .715664-2 | .715052-3 | .572009-4 | .381338-5 | .21907-6  | .108954-7 | .484238-9 |           | 0.40 |
| 0.41 | .290780             | .562565-1 | .762973-2 | .781436-3 | .640736-4 | .437835-5 | .256446-6 | .131429-7 | .598730-9 |           | 0.41 |
| 0.42 | .295775             | .584803-1 | .812076-2 | .851953-3 | .715589-4 | .500910-5 | .300546-6 | .157787-7 | .736337-9 |           | 0.42 |
| 0.43 | .300699             | .607245-1 | .862874-2 | .926730-3 | .796924-4 | .571126-5 | .350834-6 | .188573-7 | .900962-9 |           | 0.43 |
| 0.44 | .305556             | .629880-1 | .915368-2 | .100589-2 | .885107-4 | .649074-5 | .407989-6 | .224394-7 | .109704-8 |           | 0.44 |
| 0.45 | .310345             | .652699-1 | .969557-2 | .108956-2 | .980510-4 | .735377-5 | .472742-6 | .265918-7 | .132959-8 |           | 0.45 |
| 0.46 | .315068             | .675693-1 | .102544-1 | .117787-2 | .108352-3 | .830681-5 | .545882-6 | .313882-7 | .160429-8 |           | 0.46 |
| 0.47 | .319728             | .698852-1 | .108301-1 | .127092-2 | .119452-3 | .935700-5 | .628255-6 | .369100-7 | .192752-8 |           | 0.47 |
| 0.48 | .324324             | .722166-1 | .114227-1 | .136885-2 | .131392-3 | .105112-4 | .720770-6 | .432462-7 | .230646-8 | .110710-9 | 0.48 |
| 0.49 | .328859             | .745629-1 | .120321-1 | .147178-2 | .144212-3 | .117771-4 | .824400-6 | .504945-7 | .274914-8 | .134708-9 | 0.49 |
| 0.50 | .333333             | .769231-1 | .126582-1 | .157978-2 | .157953-3 | .131626-4 | .940183-6 | .587614-7 | .326452-8 | .163226-9 | 0.50 |
| 0.51 | .337748             | .792964-1 | .133011-1 | .169302-2 | .172658-3 | .146757-4 | .106923-5 | .681633-7 | .386259-8 | .196992-9 | 0.51 |

n = 1 - 10

A = 0.50 - 3.00

## Loss probability

| A    | Number of devices N |           |           |           |           |           |           |           |           |           | A    |
|------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
|      | 1                   | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |      |
| 0.50 | .333333             | .769231-1 | .126582-1 | .157978-2 | .157953-3 | .131626-4 | .940183-6 | .587614-7 | .326452-8 | .163226-9 | 0.50 |
| 0.55 | .354839             | .889052-1 | .160379-1 | .220036-2 | .241981-3 | .221811-4 | .174280-5 | .119817-6 | .732216-8 | .402719-9 | 0.55 |
| 0.60 | .375000             | .101124   | .198238-1 | .296475-2 | .355644-3 | .355631-4 | .304826-5 | .228619-6 | .152413-7 | .914477-9 | 0.60 |
| 0.65 | .393939             | .113499   | .240012-1 | .388505-2 | .504801-3 | .546838-4 | .507775-5 | .412567-6 | .297965-7 | .193677-8 | 0.65 |
| 0.70 | .411765             | .125964   | .285524-1 | .497183-2 | .695572-3 | .811434-4 | .811428-5 | .709999-6 | .552221-7 | .386555-8 | 0.70 |
| 0.75 | .428571             | .138462   | .334572-1 | .623413-2 | .934245-3 | .116767-3 | .125106-4 | .117287-5 | .977389-7 | .733042-8 | 0.75 |
| 0.80 | .444444             | .150943   | .386941-1 | .767939-2 | .122719-2 | .163599-3 | .186967-4 | .186967-5 | .166192-6 | .132954-7 | 0.80 |
| 0.85 | .459459             | .163369   | .442401-1 | .931347-2 | .158079-2 | .223895-3 | .271865-4 | .288856-5 | .272808-6 | .231887-7 | 0.85 |
| 0.90 | .473684             | .175705   | .500721-1 | .111407-1 | .200132-2 | .300107-3 | .385837-4 | .434065-5 | .434065-6 | .390658-7 | 0.90 |
| 0.95 | .487179             | .187923   | .561665-1 | .131639-1 | .249491-2 | .394871-3 | .535868-4 | .636340-5 | .671691-6 | .638107-7 | 0.95 |
| 1.00 | .500000             | .200000   | .623000-1 | .153846-1 | .306748-2 | .510986-3 | .729927-4 | .912400-5 | .101378-5 | .101378-6 | 1.00 |
| 1.05 | .512195             | .211917   | .690496-1 | .178028-1 | .372467-2 | .651393-3 | .976993-4 | .128229-4 | .149600-5 | .157080-6 | 1.05 |
| 1.10 | .523810             | .223660   | .757930-1 | .204175-1 | .447176-2 | .819152-3 | .128707-3 | .176969-4 | .216295-5 | .237925-6 | 1.10 |
| 1.15 | .534884             | .235616   | .827085-1 | .232264-1 | .531369-2 | .101742-2 | .167120-3 | .240229-4 | .306958-5 | .353002-6 | 1.15 |
| 1.20 | .545455             | .246575   | .897756-1 | .262263-1 | .625495-2 | .124943-2 | .214142-3 | .321202-4 | .428267-5 | .513921-6 | 1.20 |
| 1.25 | .555556             | .257732   | .969744-1 | .294131-1 | .729961-2 | .151844-2 | .271077-3 | .423540-4 | .588246-5 | .735308-6 | 1.25 |
| 1.30 | .565217             | .268880   | .104286   | .327820-1 | .845128-2 | .182776-2 | .339327-3 | .551375-4 | .796425-5 | .103535-5 | 1.30 |
| 1.35 | .574468             | .279417   | .111694   | .363272-1 | .971308-2 | .218068-2 | .420382-3 | .709345-4 | .106401-4 | .143641-5 | 1.35 |
| 1.40 | .583333             | .289941   | .119180   | .400427-1 | .110876-1 | .258044-2 | .515822-3 | .902607-4 | .140404-4 | .196565-5 | 1.40 |
| 1.45 | .591837             | .300250   | .126730   | .439218-1 | .125771-1 | .303026-2 | .627303-3 | .113686-3 | .183157-4 | .265577-5 | 1.45 |
| 1.50 | .600000             | .310345   | .134328   | .478574-1 | .141832-1 | .353326-2 | .765554-3 | .141834-3 | .236384-4 | .354575-5 | 1.50 |
| 1.55 | .607843             | .320227   | .141963   | .521422-1 | .159069-1 | .409248-2 | .905371-3 | .175385-3 | .302043-4 | .468164-5 | 1.55 |
| 1.60 | .615385             | .329897   | .149620   | .564685-1 | .177492-1 | .471082-2 | .107560-2 | .215074-3 | .382339-4 | .611739-5 | 1.60 |
| 1.65 | .622642             | .339358   | .157289   | .609287-1 | .197102-1 | .539107-2 | .126914-2 | .261692-3 | .479745-4 | .791573-5 | 1.65 |
| 1.70 | .629630             | .348613   | .164960   | .655148-1 | .217897-1 | .613586-2 | .148792-2 | .316083-3 | .597010-4 | .101491-4 | 1.70 |
| 1.75 | .636364             | .357664   | .172622   | .702191-1 | .239871-1 | .694764-2 | .173390-2 | .379147-3 | .737175-4 | .129004-4 | 1.75 |
| 1.80 | .642857             | .366516   | .180267   | .750335-1 | .263016-1 | .782870-2 | .200905-2 | .451832-3 | .903583-4 | .162642-4 | 1.80 |
| 1.85 | .649123             | .375171   | .187887   | .799502-1 | .287317-1 | .878113-2 | .231536-2 | .535139-3 | .109989-3 | .203475-4 | 1.85 |
| 1.90 | .655172             | .383634   | .195474   | .849616-1 | .312757-1 | .980683-2 | .265479-2 | .630115-3 | .133007-3 | .252706-4 | 1.90 |
| 1.95 | .661017             | .391909   | .203023   | .900600-1 | .339316-1 | .109075-1 | .302931-2 | .737850-3 | .159842-3 | .311682-4 | 1.95 |
| 2.00 | .666667             | .400000   | .210526   | .952381-1 | .366972-1 | .120846-1 | .344086-2 | .859476-3 | .190958-3 | .381902-4 | 2.00 |
| 2.05 | .672131             | .407911   | .217980   | .100489   | .395700-1 | .133394-1 | .389134-2 | .996162-3 | .226852-3 | .465025-4 | 2.05 |
| 2.10 | .677419             | .415646   | .225378   | .105804   | .425471-1 | .146730-1 | .438260-2 | .114911-2 | .268054-3 | .562882-4 | 2.10 |
| 2.15 | .682540             | .423209   | .232717   | .111178   | .456255-1 | .160862-1 | .491646-2 | .131955-2 | .315128-3 | .677478-4 | 2.15 |
| 2.20 | .687500             | .430605   | .239993   | .116605   | .488022-1 | .175796-1 | .549465-2 | .150875-2 | .368669-3 | .811007-4 | 2.20 |
| 2.25 | .692308             | .437838   | .247202   | .122076   | .520738-1 | .191536-1 | .611886-2 | .171797-2 | .429309-3 | .965851-4 | 2.25 |
| 2.30 | .696970             | .444912   | .254343   | .127588   | .554368-1 | .208086-1 | .679067-2 | .194851-2 | .497706-3 | .114459-3 | 2.30 |
| 2.35 | .701493             | .451831   | .261412   | .133133   | .588877-1 | .225444-1 | .751162-2 | .220168-2 | .574553-3 | .135002-3 | 2.35 |
| 2.40 | .705882             | .458599   | .268406   | .138706   | .624229-1 | .243609-1 | .828312-2 | .247878-2 | .660570-3 | .158512-3 | 2.40 |
| 2.45 | .710145             | .465220   | .275325   | .144302   | .660386-1 | .262577-1 | .910650-2 | .278111-2 | .756507-3 | .185310-3 | 2.45 |
| 2.50 | .714286             | .471698   | .282167   | .149916   | .697311-1 | .282343-1 | .998301-2 | .310999-2 | .863140-3 | .215738-3 | 2.50 |
| 2.55 | .718310             | .478037   | .288930   | .155543   | .734967-1 | .302899-1 | .109138-1 | .346670-2 | .981269-3 | .250161-3 | 2.55 |
| 2.60 | .722222             | .484241   | .295614   | .161179   | .773315-1 | .324238-1 | .118998-1 | .385254-2 | .111172-2 | .288963-3 | 2.60 |
| 2.65 | .726027             | .490312   | .302217   | .166818   | .812317-1 | .346347-1 | .129420-1 | .426875-2 | .125533-2 | .332552-3 | 2.65 |
| 2.70 | .729730             | .496256   | .308738   | .172458   | .851936-1 | .369217-1 | .140413-1 | .471657-2 | .141297-2 | .381357-3 | 2.70 |
| 2.75 | .733333             | .502075   | .315179   | .178095   | .892135-1 | .392833-1 | .151982-1 | .519721-2 | .168552-2 | .435828-3 | 2.75 |
| 2.80 | .736842             | .507772   | .321537   | .183724   | .932876-1 | .417181-1 | .164133-1 | .571185-2 | .177387-2 | .496437-3 | 2.80 |
| 2.85 | .740260             | .513351   | .327814   | .189343   | .974123-1 | .442245-1 | .176872-1 | .626162-2 | .197892-2 | .563675-3 | 2.85 |
| 2.90 | .743590             | .518816   | .334009   | .194948   | .101584   | .468010-1 | .190202-1 | .684762-2 | .220160-2 | .638056-3 | 2.90 |
| 2.95 | .746835             | .524168   | .340122   | .200537   | .105799   | .494458-1 | .204125-1 | .747089-2 | .244281-2 | .720110-3 | 2.95 |
| 3.00 | .750000             | .529412   | .346154   | .206107   | .110054   | .521571-1 | .218643-1 | .813244-2 | .270348-2 | .810388-3 | 3.00 |

## EXAMPLE OF TRAFFIC CALCULATION

### Input Data

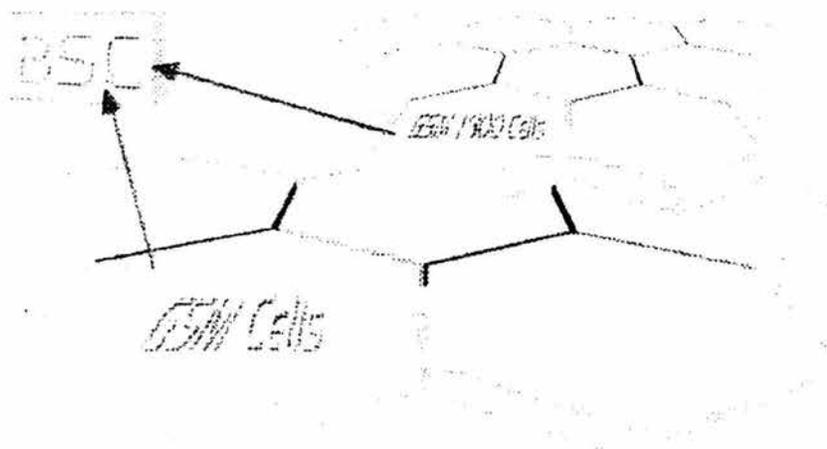
- Traffic per subscriber: 25 mE
- Number of subscribers: 10 000
- Number of available frequencies: 24
- Cell pattern: 4/12 (12 frequency groups)
- GoS: 2 %

### How many 3-sector sites are needed?

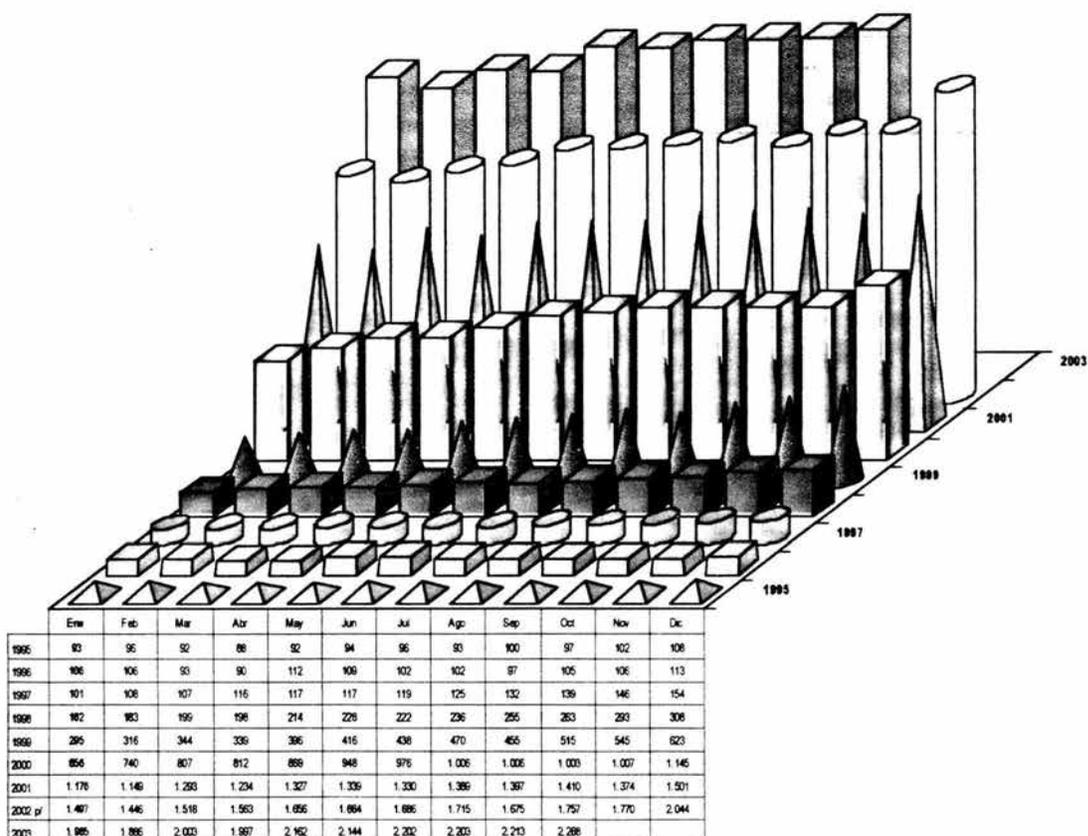
- Frequencies per cell =  $24/12 = 2$  frequencies
- Traffic channels per cell =  $2 \times 8 - 2$  (control channels) = 14 TCH
- Traffic per cell = 14 TCH, 2 % GoS  $\rightarrow$  8.2 E/cell (use the Erlang table, Table A-1)
- Subscribers per cell =  $8.2 E / 0.025 E = 328$  subscribers per cell
- Number of cells needed =  $10\,000 / 328 = 30$  cells
- Number of 3-sector sites needed =  $30/3 = 10$

# APÉNDICE C

## *Proyecciones de Celulares*



## TRÁFICO EN MILLONES DE MINUTOS 1995-2003

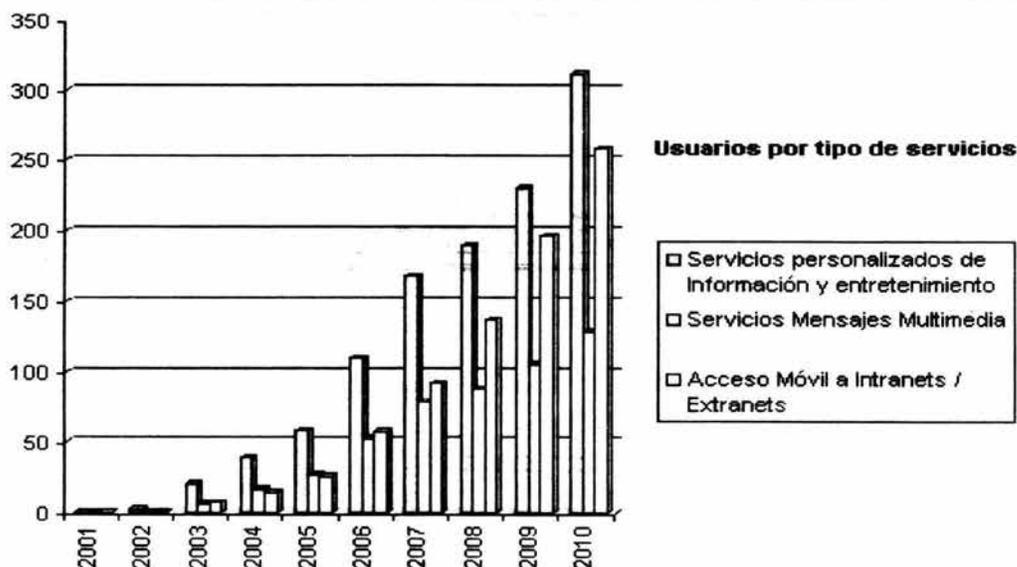


p/ Cifras preliminares a partir de la fecha que se indica.

Nota: Hasta 1998 se refiere a telefonía celular, a partir de 1999, incluye a los concesionarios de PCS.

FUENTE: Dirección General de Tarifas e Integración Estadística, **COFETEL**, con información proporcionada por los concesionarios.

## UMTS - 3G MERCADO DE DATOS MOVIL

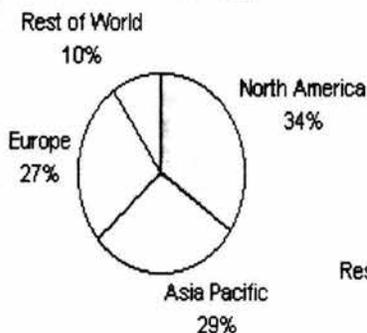


|   | 2001     | 2003        | 2005        | 2007        | 2010         |
|---|----------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Suscripciones (M)</b>                                  |          |             |             |             |              |
| Servicios personalizados de información y entretenimiento | 0        | 20,7        | 58,5        | 168,2       | 311,1        |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 0,1      | 7,2         | 25,8        | 92,4        | 258,2        |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 0        | 6,9         | 27,3        | 79,4        | 128,5        |
| <b>Ingresos (\$B)</b>                                     |          |             |             |             |              |
| Servicios personalizados de información y entretenimiento | 0        | 5,8         | 17          | 48,1        | 85,8         |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 0        | 3,1         | 8,5         | 23,6        | 60,7         |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 0        | 1,6         | 5,1         | 11,8        | 17,8         |
| <b>Total Ingresos</b>                                     | <b>0</b> | <b>10,5</b> | <b>30,6</b> | <b>83,5</b> | <b>164,3</b> |

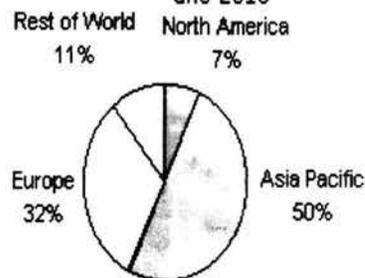
Fuente: Telecompetition Inc., July 2003

**Distribución regional de servicios de Datos - previsión**

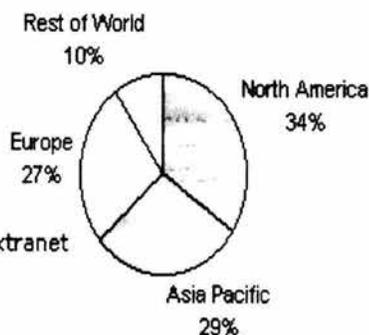
**Acceso móvil a Intranet/Extranet  
año 2010**



**Servicios personalizados de información  
año 2010**



**Acceso móvil a Intranet/Extranet  
año 2010**



| Año 2010  | North America | Asia Pacific | Europe | Rest of World |
|---|---------------|--------------|--------|---------------|
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 22,6          | 155          | 100,2  | 33,3          |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 20,7          | 49,5         | 43,9   | 14,5          |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 89,1          | 74,3         | 69,7   | 25,1          |

Millones de usuarios - Fuente: Telecompetition Inc., July 2003

**Europa**

**Previsión Crecimiento de Mercado Datos móviles Europa - Millones de usuarios**

|   | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---|------|------|------|------|------|
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 0,1  | 0,9  | 13   | 18,1 | 22,6 |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 0    | 0,4  | 4,7  | 7,2  | 10,1 |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | -    | 0,4  | 4,3  | 4,4  | 7,4  |

|   | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010  |
|---|------|------|------|------|-------|
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 39,7 | 59   | 62,6 | 75,5 | 100,2 |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 19,6 | 28,9 | 30,7 | 36,7 | 43,9  |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 16,6 | 26,1 | 37,4 | 53,3 | 69,7  |

Fuente: Strategy Analytics – 2003

**América del Norte**

Previsión Crecimiento de Mercado Datos móviles Norte América - Millones de Usuarios

|   | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---|------|------|------|------|------|
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | -    | -    | -    | 2,3  | 3    |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | -    | -    | -    | 0,7  | 0,9  |
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | -    | -    | -    | 1,1  | 1,4  |
|   | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 5,4  | 8,4  | 11,7 | 16,3 | 20,9 |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 1,5  | 2    | 2,1  | 2,5  | 2,9  |
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 2,5  | 3,7  | 3,9  | 4,7  | 6,2  |

Fuente: Strategy Analytics - 2003

**América Latina**

Previsión Crecimiento de Mercado Datos móviles América Latina - Millones de Usuarios

|                    | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| Servicios          | 0    | 0    | 0    | 0,68 | 2,81 |
| Acceso Móvil a     | 0    | 0    | 0    | 0,32 | 1,4  |
| Servicios Mensajes | 0    | 0    | 0    | 0,45 | 1,72 |

|   | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010  |
|---|------|------|------|------|-------|
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 4,95 | 9,06 | 9,75 | 11,9 | 16    |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 3,17 | 5,78 | 8,39 | 12,1 | 16,03 |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 3,37 | 5,78 | 6,22 | 7,53 | 9,12  |

Fuente: Strategy Analytics - 2003

**Asia**

Previsión Crecimiento de Mercado Datos móviles Asia Pacifico - Millones de Usuarios

|   | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---|------|------|------|------|------|
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 0,1  | 1,7  | 7,6  | 16,3 | 26,7 |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 0    | 0,6  | 2,2  | 6    | 10,3 |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | -    | 0,8  | 2,9  | 3,8  | 7,3  |

|   | 2006 | 2007 | 2008 | 2009  | 2010 |
|---|------|------|------|-------|------|
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 53,9 | 83,1 | 93,5 | 113,4 | 155  |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 20,1 | 29,8 | 33,3 | 40    | 49,5 |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 16,4 | 26   | 39,4 | 56,5  | 74,3 |

Fuente: Strategy Analytics - 2003

**Resto del Mundo**

Previsión Crecimiento de Mercado Datos móviles Resto del Mundo - Millones de Usuarios

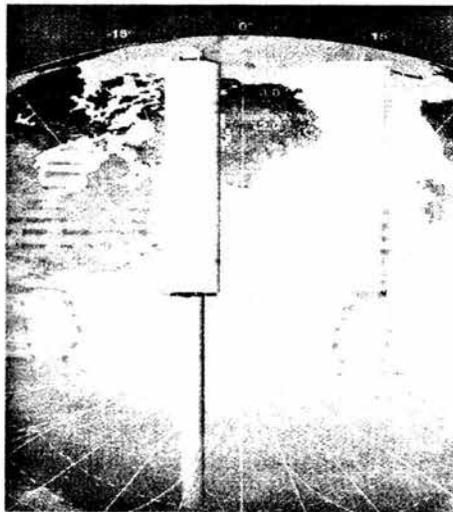
|                    | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| Servicios          | -    | 0    | 1,3  | 4,3  | 7,6  |
| Servicios Mensajes | -    | -    | -    | 0,7  | 2,2  |
| Acceso Móvil a     | -    | -    | -    | 0,6  | 1,9  |

|   | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|------|------|------|------|------|
| Servicios personalizados de Información y entretenimiento | 13,1 | 20,1 |      | 24,6 | 33,3 |
| Servicios Mensajes Multimedia                             | 4,4  | 7,3  | 9,8  | 11,9 | 14,5 |
| Acceso Móvil a Intranets / Extranets                      | 4,4  | 7,7  | 13,1 | 18,9 | 25,1 |

Fuente: Strategy Analytics - 2003

# APÉNDICE D

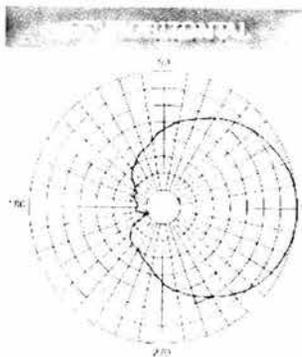
## *Patrón de Frecuencias de Antenas*



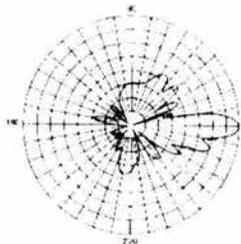
1850-1990 MHz DUAL POLARIZED PANEL ANTENNAS

TECHNICAL SPECIFICATIONS

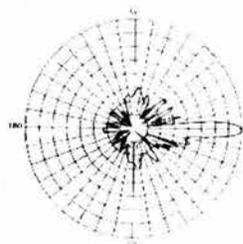
| Part Number      | Mounting Bracket | Horizontal Beamwidth | Gain, dBi / dBd | Elevation Beamwidth | Dimensions, in (mm) L x W x D     |
|------------------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------------|
| PCSD19-06513-0D  | 600691-5         | 65°                  | 15.5 / 13.4     | 10.5°               | 32.7 (830) x 6.6 (168) x 3.3 (84) |
| PCSD19-06516-0D* | 600691-3         | 65°                  | 18.1 / 16       | 6.5°                | 58 (1473) x 6.6 (168) x 3.3 (84)  |
| PCSD19-09012-0D  | 600691-5         | 90°                  | 14 / 11.9       | 10.5°               | 32.7 (830) x 6.6 (168) x 3.3 (84) |
| PCSD19-09015-0D* | 600691-3         | 90°                  | 16.6 / 14.5     | 6.5°                | 58 (1473) x 6.6 (168) x 3.3 (84)  |



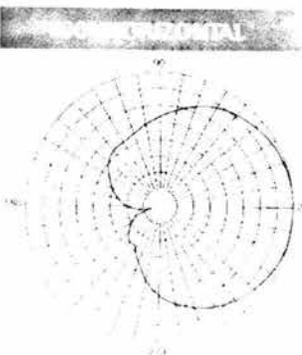
**10.5° EL BEAMWIDTH**  
**PCSD19-06513-0D**  
 15.5 dBi / 13.4 dBd Gain



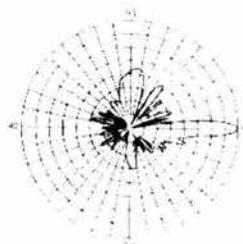
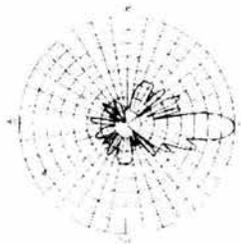
**6.5° EL BEAMWIDTH**  
**PCSD19-06516-0D**  
 18.1 dBi / 16 dBd Gain



**10.5° EL BEAMWIDTH**  
**PCSD19-09012-0D**  
 14 dBi / 11.9 dBd Gain



**6.5° EL BEAMWIDTH**  
**PCSD19-09015-0D**  
 16.6 dBi / 14.5 dBd Gain



| Wind Load<br>Frontal, lbf (N) | Wind Load<br>Lateral, lbf (N) | Wind Load<br>Back, lbf (N) | Weight,<br>lb (kg) | Shipping<br>Weight, lb (kg) | Shipping Dimensions,<br>in (mm) L x W x D |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------------|---|
| 62 (278)                      | 14.7 (65)                     | 82 (364)                   | 10 (4.5)           | 20 (9.1)                    | 43 (1092) x 7 (178) x 3.8 (95)            |
| 109 (486)                     | 26 (114)                      | 143 (638)                  | 15 (6.8)           | 25 (11.3)                   | 68 (1727) x 7 (178) x 3.8 (95)            |
| 62 (278)                      | 14.7 (65)                     | 82 (364)                   | 10 (4.5)           | 20 (9.1)                    | 43 (1092) x 7 (178) x 3.8 (95)            |
| 109 (486)                     | 26 (114)                      | 143 (638)                  | 15 (6.8)           | 25 (11.3)                   | 68 (1727) x 7 (178) x 3.8 (95)            |

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

|                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| Frequency Band, MHz        | 1850–1990          |
| Polarization Type          | Dual, slant 45°    |
| Port-to-port Isolation, dB | 30                 |
| Downtilt, deg              | 0°                 |
| Impedance, ohms            | 50                 |
| Return Loss, dB (VSWR)     | > 15.5 (1.4:1)     |
| Front-to-back Ratio, dB    | > 25               |
| Maximum Input Power, watts | 300 @ 25°C ambient |
| Lightning Protection       | dc ground          |
| Connector Type             | 7-16 DIN female    |

MECHANICAL SPECIFICATIONS

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Radome Material | UV protected PVC |
| Radome Color    | Gray             |

MOUNTING HARDWARE

|          |  |
|----------|--|
| 600691-4 | Downtilt bracket kit for wall or pipe mounting. Fits 1.3–4.5 in (33–115 mm) O.D. pipes. For 58 in (1473 mm) length antennas. |
| 600691-6 | Downtilt bracket kit for wall or pipe mounting. Fits 1.3–4.5 in (33–115 mm) O.D. pipes. For 40 in (830 mm) length antennas.  |

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Survival Wind Speed       | 56 m/s (200 km/h) 125 mph |
| Temperature Range °F (°C) | - 40/+158 (-40/+70)       |
| Humidity                  | Up to 100%                |

\* 2° downtilt is also available.

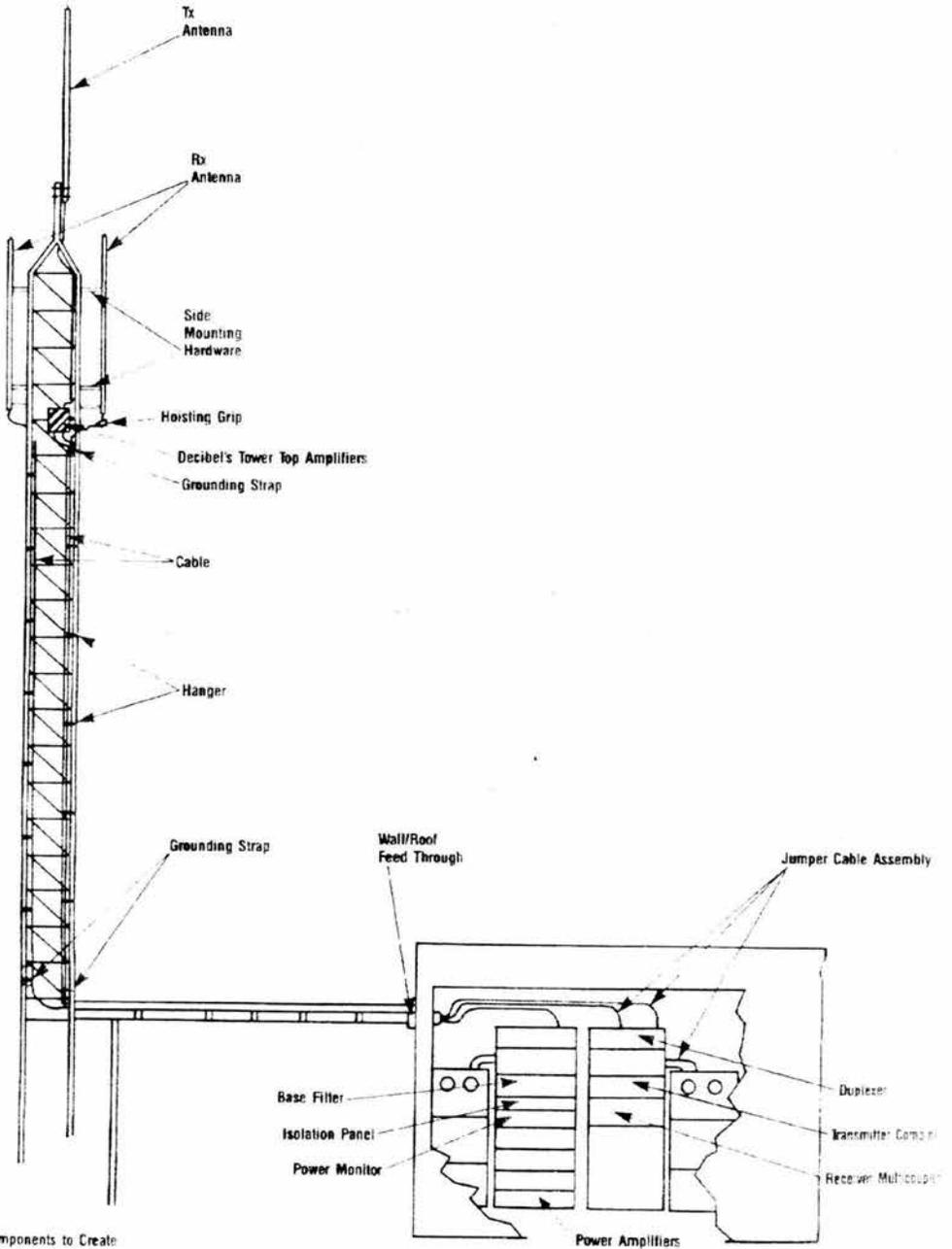
Notes:

- Wind loads are based on 100 mph (161 km/h).
- Shipping weights include the mounting bracket.

# APÉNDICE E

## *La BTS y sus Componentes*





**Components to Create Complete Systems:**

- |                         |                          |                    |                            |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|
| • Base Station Antennas | • Transmitter Combiners  | • Isolation Panels | • Tower Top Amplifiers     |
| • Cables                | • Receiver Multicouplers | • Power Monitors   | • Hardware and Accessories |
| • Duplexers             | • Base Station Filters   | • Power Amplifiers |                            |

## Lista de Acrónimos y Términos



## Lista de Acrónimos y Términos

### A

|               |                       |
|---------------|-----------------------|
| A - bis       | Interface BSC - BTS   |
| A - interface | Interface MSC - BSC   |
| Air interface | Interface RBS - MS    |
| AUC           | Authentication Center |

### B

|      |                           |
|------|---------------------------|
| BCH  | Broadcast Channel         |
| BCCH | Broadcast Control Channel |
| BFU  | Battery fuse Unit         |
| BPS  | Bits Per Second, Bit/s    |
| BSC  | Base Station Controller   |
| BSS  | Base Station System       |
| BTS  | Base Transceiver Station  |

### C

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| CBCH | Cell Broadcast CHannel          |
| CCCH | Common Control CHannel          |
| CCH  | Control CHannel                 |
| CCU  | Climate Control Unit            |
| CDU  | Combining and Distribution Unit |
| CPU  | Central Processor Unit          |
| CU   | Combiner Unit                   |

### D

|           |  |
|-----------|--|
| dB        | DeciBell                                       |
| DC        | Direct Current                                 |
| DCCH      | Dedicated Control CHannel                      |
| DFU       | Distribution Fuse Unit                         |
| Down link | Signaling direction, from the system to the MS |
| DTX       | Discontinuous Transmission                     |
| DU        | Distribution Unit                              |
| DXU       | Distribution Switch Unit                       |

### E

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| ECU | Energy Control Unit         |
| EIR | Equipment Identity Register |

|      |   |
|------|---|
| ESD  | Electro Static Discharge                        |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |

**F**

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| FACCH | Fast associated Control CHannel    |
| FCCH  | Frequency Correction CHannel       |
| FCU   | Fan Control Unit                   |
| FDMA  | Frequency Division Multiple Access |

**G**

|      |  |
|------|--|
| GMSC | Gateway Mobile Services Switching Center |
| GMSK | Gaussian Minimum Shift Keying            |
| GPRS | General Packet Radio Service             |
| GSM  | Global System for Mobile communications  |
| GSC  | Global Center Support                    |

**H**

|       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| HDLC  | High Level Data Link Control     |
| HLR   | Home Location Register           |
| HSCSD | High Speed Circuit Switched Data |
| HW    | Hardware                         |
| Hz    | Hertz                            |

**I**

|      |  |
|------|--|
| IC   | Integrated Circuit                       |
| IDB  | Installation Data Base                   |
| IDM  | Internal Distribution Module             |
| ILR  | Interworking Location Register           |
| IMEI | International Mobile Equipment Identity  |
| IMSI | International Mobile Subscriber Identity |
| IN   | Intelligent Networks                     |
| IMT  | International Mobile Communications      |
| ITU  | International Telecommunications Union   |
| IP   | Internet Protocol                        |

|          |                 |  |
|----------|-----------------|--|
|          | IS              | Interface Switch   |
|          | ISDN            | Integrated Services Digital Network  |
| <b>L</b> |                 |  |
|          | LAPD            | Link Access Protocol on D-channel  |
|          | LAC             | Location Area Code   |
|          | Logical Channel | A Logical Channel represents a specified portion of the information carrying capacity of a physical channel. |
|          | LA              | Location Area  |
| <b>M</b> |                 |  |
|          | m               | metro  |
|          | MRC             | Maximal Radio Correction   |
|          | MS              | Mobile Station   |
|          | MSC             | Mobile services Switching Center   |
|          | MUX             | Multiplexor  |
| <b>O</b> |                 |  |
|          | OMC             | Operation and Maintenance Center   |
|          | O&M             | Operation and Maintenance  |
|          | OMT             | Operation and Maintenance Terminal   |
|          | OSS             | Operation and Support System   |
| <b>P</b> |                 |  |
|          | PAM             | Power Amplifier Module   |
|          | PBC             | Power and Battery Cabinet  |
|          | PCH             | Paging Channel   |
|          | PCM             | Pulse Code Modulation  |
|          | PCS             | Personal Cellular System   |
|          | PIN             | Personal Identification Number   |
|          | PLMN            | Public Land Mobile Network   |
| <b>S</b> |                 |  |
|          | SW              | Software   |
|          | SWR             | Standing Wave Radio  |
|          | SYNC            | Synchronous  |
| <b>T</b> |                 |  |
|          | TCB             | Transceiver Control Board  |
|          | TEMS            | TEst Mobile System   |

---

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| TCH  | Traffic CHannel               |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| TDU  | Test Domain Reflectometer     |
| TEI  | Terminal Endpoint Identifier  |
| TG   | Transceiver Group             |
| TMA  | Tower Mounted Amplifier       |
| TRAU | Transcoder Rate Adaption Unit |
| TRU  | Transceiver Unit              |
| TRX  | Transceiver                   |
| TS   | Time Slot                     |
| TXU  | Transmitted Unit              |

**U**

|         |  |
|---------|--|
| UMTS    | Universal Mobile Telecommunications Services   |
| Up link | Signaling direction, from the MS to the system |
| UPS     | Uninterrupted Power Supply                     |

**V**

|      |                             |
|------|-----------------------------|
| VSWR | Voltage Standing Wave Ratio |
|------|-----------------------------|

**W**

|   |      |
|---|------|
| W | Watt |
|---|------|

# **BIBLIOGRAFÍA**



## Bibliografía

### Libros

- Faruque Saleh. Cellular Mobile Systems Engineering. Artech House. Boston London, 1996. ISBN 0-89006-518-7
- Doble John. Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile Communications. Artech House. Boston London, 1996. ISBN 0-89006-529-2
- Sigmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant An Introduction to GSM Artech House Publishers, 1995
- Telefonaktiebolaget LM Ericsson, Table of Erlang Loss Formula. Telephone Exchange Division, Stockholm 1979
- Adelphi Center, Student Workbook: Telecoms 2000 An Overview. Ericsson Systems Expertise Limited. Co Dublin Ireland 1995

### Manuales

- Allen Telecom Group, Base Station Systems Equipment. Decibel Products, 1994
- Andrew, Complete Wireless Systems Solutions. Orland Park 1998
- Training Document, CME 20 System Survey. Ericsson Radio System AB.
- Student's Material, GPRS System Survey. Ericsson Radio System AB.
- Student Guide, Radio Frequency Engineering Accelerated. Technical Education Center Ericsson Inc.

## Cursos

- *GSM System Survey & RBS 2000*, Centro Internacional de Entrenamiento en Telecomunicaciones Ericsson. Del 2 al 4 de enero del 2001.
- *RBS 2000 GSM O&M*, Centro Internacional de Entrenamiento en Telecomunicaciones Ericsson. Del 12 al 13 de enero del 2001.
- *Cell Planning Overview*, Centro Internacional de Entrenamiento en Telecomunicaciones Ericsson. Del 5 de enero del 2001

## Direcciones Electrónicas

- <http://www.cofetel.gob.mx/indice.shtml>
- <http://www.ericsson.com/about/telecom>
- <http://www.ericsson.net/gsm>
- <http://www.3gpp.org/>
- <http://www.gsmworld.com>
- <http://www.itu.int>.
- <http://www.umts-forum.org>