



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS

DISEÑO Y ESTUDIO DE REDES DE  
TELEFONIA CELULAR

TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTA

*Daniel Arturo Beltrán Dufour*

San Luis Potosí, S. L. P. Agosto de 2004



# **Diseño y Estudio de Redes de Telefonía Celular**





**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI  
FACULTAD DE CIENCIAS**



# **Diseño y Estudio de Redes de Telefonía Celular**

**TESIS PROFESIONAL  
para obtener el título de**

## **Ingeniero Electrónico**

**PRESENTA:**

**Daniel Arturo Beltrán Dufour**

**SAN LUIS POTOSI, S. L. P. 27 de Agosto 2004**

V. LIGNIS



FMNT 837

# **Diseño y Estudio de Redes de Telefonía Celular**

**Dirigida por:  
M.C. Enrique Stevens Navarro**





**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**



# **Diseño y Estudio de Redes de Telefonía Celular**

**TESIS PROFESIONAL**  
**para obtener el título de**

## **Ingeniero Electrónico**

**PRESENTA:**

**Daniel Arturo Beltrán Dufour**

**ASESOR DE TESIS:**

**M.C. Enrique Stevens Navarro**

**SAN LUIS POTOSI, S. L. P. 27 de Agosto 2004**





Agradecimientos:

Le agradezco a Dios, mi familia, a mi novia, y a mis amigos que me han dado tanto.

Especialmente a mi madre y a mi padre por apoyarme y darme el placer de aprender.



# INDICE

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Capitulo 1</b>	<b>Historia y estándares</b>
Historia y estándares	3
Primera generación (1G)	3
Segunda generación (2G)	5
-Segunda generación avanzada (2.5)	9
-Cobertura en los sistemas 2G	10
Tercera generación (3G)	11
-Servicios 3G	12
-La propuesta de la 3G	12
Cuarta generación (4G)	14
-Sistemas de 4G	15
-Retos tecnológicos	15
Telefonía celular en México	16
-Tolerancia de frecuencia	17
-Codificación de frecuencias	18
-Numero de serie	18
-Resultados del programa de evaluación de calidad en la telefonía móvil	18
<b>Capitulo 2</b>	<b>El concepto celular</b>
¿Cómo funciona?	19
Concepto básico	19
Arquitectura del sistema	19
Cell-sites	20
Los seis componentes de un sistema radio celular	23
-Centro de conmutación electrónica	23
-Controlador de sitio de célula	24
-Tranceptores de radio	24
-Interconexiones del sistema	24
-Unidades de telefonía móvil	24
-Protocolo de comunicaciones	24
Procesamiento de llamadas	25
-Llamada de línea a móvil	25
-Llamada de móvil a línea	26
-Llamada de móvil a móvil	26

Handoff	27
-proceso	28
Roaming	29

### **Capitulo 3 Tecnologías y técnicas de acceso**

Técnicas de acceso	33
AMPS (advanced mobile phone service)	34
-Reuso de frecuencia	34
-División de célula	35
-Canales de control	35
Sistema GSM	36
-El IS-54	36
-Servicios GSM	38
WAP (wireless application protocol)	39
-Desventajas	39
GPRS	40
CDMA (code division multiple acces)	40
-Tecnología CDMA	40
-El escenario de enfoque/ normas en CDMA	41
-Las ventajas de CDMA	43
El sistema IS-95	44
UMTS (universal mobile telecommunicatios system)	45

### **Capitulo 4 Estrategias de diseño para redes de telefonía celular**

Herramientas de dimensionado	47
-Análisis Matemático	47
-Simulación	48
-Maquetas	48
-Prueba y error	49
Trunking y calidad de servicio en redes celulares	50
Modelo para obtener la intensidad de tráfico en un sistema celular	53

### **Capitulo 5 Conclusiones** 57

### **Apéndices**

Apéndice A	59
Apéndice B	65
Apéndice C	67

## Introducción

El adelanto de la tecnología celular a traído consigo varias generaciones cada generación se ha distinguido por el tipo de tecnologías desarrolladas en ellas.

Al enfocarnos al diseño de una red inalámbrica móvil es necesario entender su funcionamiento de el sistema celular, como es y será la interacción del usuario con el sistema, así como ha transcurrido durante un creciente número de usuarios.

Así consiguiendo un mejor aprovechamiento del ya fijado espectro radio eléctrico, usado en las comunicaciones móviles, de esta forma se ha visto que la continua demanda del mercado trae consigo un exigente mejora de calidad y servicio, por lo tanto un mejor aprovechamiento de el espectro.

Es por esto que la ingeniería se ve obligada a una constante expansión de métodos para una mejor utilización de espectro.

Siendo así para el mejor manejo del espectro es necesario hacer un buen dimensionado adecuado de las necesidades del sistema, de tal forma que se pueda usar todo el ancho de banda para obtener comunicaciones de calidad.

Esto nos lleva a conocer el comportamiento del usuario siendo esto algo que el ingeniero no puede manipularlo, siendo así la tarea del ingeniero el conocer el comportamiento del usuario para poder diseñar mejores sistemas que presten mejor servicio.



## CAPITULO 1.

### HISTORIA Y ESTÁNDARES

Las comunicaciones inalámbricas tuvieron su nacimiento desde que Marconi logró transmitir su voz a través del océano Atlántico en 1901, a partir de entonces, se ha experimentado un crecimiento rápido a través de todo el siglo pasado, como su mejora a través del tiempo por diversos acontecimientos, que hacen que mejoren y evolucionen.

Los servicios de radio móvil se han usado aproximadamente por 75 años cuando el Departamento de Policía de Detroit comienza a usar radios en sus patrullas usando una banda de frecuencia de 2 Mhz, después de varias investigaciones en 1946 Bell telephone labs creo un sistema móvil para el público en St. Luis, cuyo nombre fue Telephone Labs inaugura el primer Mts (mobile telephone service), este tipo de servicio era bastante limitado en un principio ya que el número de canales y el ancho de banda eran reducidos. La evolución siguió su curso.

En 1970 AT& T diseña y prueba un sistema que hace un uso del más eficiente del efecto de Frecuencia útil. Y en 1975 la FCC (Federal Comuni. Comité) concede a AT&T la primera licencia para operara un servicio de red celular en la ciudad de Chicago = AMPS (Advanced Mobile Phone Service).

Para entonces el espectro utilizado es de un ancho de banda de 40 MHz dividido en portadores de 30 Khz, posteriormente en 1989 se agregan 10 MHz, esto fue en estados unidos, todo esto eran sistemas y métodos análogos.

Por Europa también tuvieron su desarrollo, cada país lanza su propio sistema, en unos casos más de uno, pero surgen los problemas; primero la potencial demanda de servicios móviles fue mayor de la capacidad esperada de los existentes redes análogos; segundo las diferentes formas de operar no ofrecen compatibilidad para los usuarios de móviles.

Todas estas circunstancias apuntaron hacia el diseño de nuevos sistemas. Sistemas que aparte de proveer los servicios mínimos cumplieran con requisitos previamente establecidos compatibles entre sí.

#### **Primera generación (1G). –**

Aparece en los 80's como existían varias redes de radios móviles pero estas no eran sistemas celulares se basaban en principalmente en una sola antena con el número limitado de canales que había disponibles hasta ese entonces, y que intentaba dar servicio a todos sus abonados.

En México, es hasta 1984 cuando Telcel obtiene la concesión para explotar la red de servicio radiotelefónico móvil en el área metropolitana de la Ciudad de México, bajo la denominación de "Radiomóvil Dipsa S.A. de C.V." operando en las bandas radiofónicas de 450-470 y 470-512 MHz. La Secretaría de Comunicaciones y



Transportes convocó la introducción de la telefonía celular en nuestro país en las nueve diferentes regiones en que fue dividido. Aquí nace Iusacell, convirtiéndose en la primera compañía de telefonía celular en ofrecer el servicio en la Ciudad de México y en ese mismo año surge la marca Telcel ofreciendo los servicios de telefonía celular en la ciudad de Tijuana B.C.

En la primera generación se utilizaron técnicas de transmisión analógicas, limitados a los servicios en su mayoría a voz.

La calidad de los enlaces era muy baja, tenían baja velocidad (2400 bauds). En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad (Basadas en FDMA, Frequency Division Multiple Access) y, además, la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System).

Esta asigna a cada usuario una frecuencia de 30KHz de ancho de banda en el sistema Analógico AMPS (Sistema de telefonía móvil avanzado). Como el espectro es limitado, solo se podía acomodar un número fijo de usuarios, por lo que al ingresar más usuarios al sistema se empezaron a bloquear los canales.

Lo que caracteriza a la primera generación: una red celular y la utilización de técnicas analógicas.

Los estándares más exitosos NMT (Nordic Mobile Telephone), Total Access Communication Systems (TACS) y AMPS (Advanced Mobile Phone Service).

NMT que se originó en Escandinava tuvo dos variantes NMT-450 y NMT-900 usando la banda de 450 MHz y 900MHz respectivamente. NMT ofrece la posibilidad de roaming internacional, esto significa una ventaja sobre los otros sistemas.

TACS, estándar del Reino Unido es otro en la actualidad, se basa en un protocolo. AMPS en la banda de los 900Mhz. Y por último AMPS de origen norteamericano el cual va a 800 Mhz. También en Japón estándares como NTT's MCI I'

Así vemos que aunque el mundo avance a nuevos estándares, en otras partes aún se usan sistemas de primera generación.

Sin embargo, estos sistemas solo alcanzan unas penetraciones limitadas debido a los elevados costos que implican. Solo en los países nórdicos, en los que las condiciones económicas –altas rentas percapitas- y sociales –tendencia a vivir en el campo- eran particularmente favorables, se llega a una amplia penetración.

Las razones de que los costos fueran tan elevados son:

- a) Por un lado, falta de competencia entre los operadores y suministradores de equipos que obligaran a bajar los precios. Cuando en Gran Bretaña se introdujo el segundo operador, incluso el crecimiento del sistema TACS, analógico, se aceleró considerablemente.
- b) Por otro, dificultades de orden técnico. Entre estas las más destacables son:
  - Existencia de varios estándares y, por tanto, series de fabricación limitadas.

**Llamada de móvil a línea:**

Un suscriptor móvil que desea llamar a una línea compartida, primero introduce el número llamado en la memoria de la unidad, usando los botones de tono o de pulso en la unidad del teléfono. El suscriptor, entonces oprime la tecla para enviar, la cual transmite el número marcado, así como el número de identificación del suscriptor móvil al conmutador. Si el número de identificación es válido, el conmutador rutea la llamada sobre una interconexión de línea terminada a la red de telefonía pública, lo cual termina la conexión a la línea compartida. Usando el controlador de sitio de célula, el conmutador asigna a la unidad móvil que sintonice ese canal. Después de que el conmutador verifica que la unidad móvil está sintonizada al canal asignado, el suscriptor móvil recibe un tono de llamada en progreso, audible, del conmutador. Después que la persona a la que se llamó levanta el teléfono, el conmutador termina los tonos de llamada en progreso y la conversación puede comenzar.

**Llamadas de móvil a móvil:**

Las llamadas entre dos unidades, también son posibles en el sistema de radio celular. Para originar una llamada a otra unidad móvil, el que llama introduce el número marcado en la memoria de la unidad, por medio del teclado en el dispositivo de teléfono y después oprime la tecla enviar. El conmutador recibe el número de identificación del que llama y el número marcado y después determina si la unidad llamada está libre para recibir una llamada. El conmutador envía un comando de voceo a todos los controladores de sitio de célula y el que es llamado (el canal puede estar en cualquier parte del área de servicio) recibe un llamado. Después de un voceo positivo del que fue llamado, el conmutador asigna a cada uno, un canal de usuario desocupado y les instruye que se sintonicen a su canal respectivo. Entonces el teléfono del que se está llamando suena. Cuando el sistema recibe una noticia de que el que fue llamado ha contestado el teléfono, el conmutador termina el tono de llamada progresiva y la conversación puede comenzar entre las dos unidades.

Si un suscriptor móvil desea iniciar una llamada y los canales de usuario están ocupados, el conmutador envía un comando de reintento instruyendo al suscriptor que vuelva a intentar la llamada por medio de una célula vecina. Si el sistema no puede distribuir un canal de usuario por medio de la célula vecina, el conmutador transmite un mensaje de intercepción a la unidad móvil que esta llamando por medio del canal de control. Cada vez que esta llamando a un suscriptor móvil que está ocupado, el que llama recibe una señal de ocupado. Además, si el número que se está marcando no es válido, el sistema envía un mensaje grabado por medio del canal de control o proporciona un aviso de que la llamada no puede procesarse.

establecida. Los protocolos celulares difieren entre países. En Estados Unidos se inició utilizando el estándar del Servicio de Telefonía Avanzado (AMPS), mientras que en Canadá se utilizó el sistema AURORA 80B. Cada país europeo tiene su propio estándar. El Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS) se usa en el Reino Unido; NMT o sistema nórdico en los países escandinavos; RC2000 en Francia; NETZ C-450 en Alemania; y NTT es el estándar japonés para la telefonía celular.

### **Procesamiento de Llamadas**

Una llamada telefónica sobre una red celular requiere del uso de dos canales de voz full duplex simultáneamente, uno se llama canal de usuario y el otro, el canal de control. La estación base transmite y recibe, se llama canal de control directo y canal de voz directo, y la unidad móvil transmite y recibe con el control y los canales de voz diversos.

La conclusión de una llamada dentro de un sistema de radio celular es muy similar a la de telefonía pública conmutada. Cuando una unidad móvil se enciende, realiza una serie de procedimientos de arranque y después prueba la intensidad de la señal recibida en todos los canales de usuario prescritos. La unidad automáticamente se sintoniza al canal con la intensidad de la señal de recepción más fuerte y se sincroniza para controlar la información transmitida por el controlador de sitio de célula. La unidad móvil interpreta la información y continúa monitoreando el/los canal(es) de control. La unidad móvil automáticamente rastrea periódicamente para asegurarse que está utilizando el mejor canal de control.

Dentro de un sistema celular, las llamadas se pueden realizar entre una línea compartida y un teléfono móvil o entre dos teléfonos móviles.

#### **Llamada de línea a móvil:**

El centro de conmutación de un sistema celular recibe una llamada de una línea compartida a través de una línea interconectada dedicada, desde la red telefónica pública conmutada. El conmutador traslada los dígitos marcados y determina si la unidad móvil, a la cual la llamada está destinada, está colgada o descolgada (ocupada). Si la unidad móvil está disponible, el conmutador vocea al suscriptor móvil. Siguiendo una respuesta de voceo de la unidad móvil, el conmutador asigna un canal desocupado e instruye a la unidad móvil que se sintonice en ese canal. La unidad móvil envía una verificación de la sintonización del canal por medio del controlador en el de sitio de célula y después envía un tono de progreso de llamada al teléfono móvil del suscriptor, causando que éste suene. El conmutador termina los tonos de progreso, cuando recibe la indicación positiva que el suscriptor ha contestado el teléfono y la conversación entre dos personas comienza.

## **2. Controlador de Sitio de Célula:**

Cada célula contiene un controlador de sitio de célula que opera bajo la dirección del centro de conmutación. El controlador de sitio de célula administra cada uno de los canales de radio en el sitio, supervisa llamadas, enciende y apaga el transceptor de radio, inyecta información a los canales de control y usuario, realiza pruebas de diagnóstico en el equipo de sitio de la célula.

## **3. Transceptores de Radio:**

Los Transceptores de Radio utilizados para la radio celular son FM de banda angosta, con una frecuencia de audio de 300 Hz a 3 KHz. y una desviación de frecuencias de +/- 12 KHz. para una modulación al 100 %. Esto corresponde a un ancho de banda de 30 KHz. usando la regla de Carson. Cada célula contiene un transmisor y dos receptores de radio sintonizados a la misma frecuencia. Se selecciona a cualquier receptor de radio que detecte la señal más fuerte.

## **4. Interconexiones del Sistema:**

Las líneas telefónicas terminadas a cuatro hilos se utilizan para conectar los centros de conmutación a cada uno de los sitios de la célula. Existe un circuito troncal de cuatro hilos asignado para cada uno de los canales del usuario de la célula. Además, debe haber por lo menos un circuito a cuatro hilos para conectar el conmutador a un controlador de sitio de célula como canal de control.

## **5. Unidades de Telefonía Móvil:**

Las Unidades de Telefonía Móvil y portátiles son básicamente la misma cosa. La única diferencia es que las unidades portátiles tienen una potencia de salida más baja y una antena menos eficiente. Cada unidad de teléfono móvil consiste de una unidad de control, un transceptor de radio, una unidad lógica y una antena móvil. La unidad de control alberga todas las interfaces de usuario, incluyendo un auricular. El transceptor de radio utiliza un sintetizador de frecuencias para sintonizar cualquier canal del sistema celular asignado. La unidad lógica interrumpe las acciones del suscriptor y los comandos del sistema y maneja al transceptor y las unidades de control

## **6. Protocolo de Comunicaciones:**

El último componente del sistema celular es el Protocolo de Comunicaciones que gobierna la manera en que una llamada telefónica es

radio celular hace un uso más eficiente del espectro de frecuencias disponibles, que un servicio MTS tradicional.

Conforme se aleja un teléfono de un transceptor, en el centro de una célula, la intensidad de la señal recibida comienza a disminuir. La máxima potencia de salida de un transceptor celular es de 35 dBm (3 W) y puede ajustarse a incrementos reductores de 4 dB hasta 7.8 dBm (0.7 W). La potencia de salida de las unidades móviles se controla por la estación base, por la transmisión de comandos up/down, lo cual depende de la intensidad de la señal que esté recibiendo actualmente. Cuando la intensidad de la señal disminuye, por debajo de un nivel umbral predeterminado, el centro de conmutación electrónico localiza la célula en el panel que está recibiendo la señal más fuerte de la unidad y transfiere de la unidad móvil al transceptor en la nueva célula. La transferencia incluye convertir la llamada a una frecuencia disponible dentro del subconjunto de canales distribuidos en la nueva célula. Esta transferencia se llama Handoff (entrega) y es completamente transparente al usuario (el cliente no sabe que su servicio ha sido conmutado). La transferencia toma aproximadamente 0.2 Seg. Lo cual es imperceptible a los usuarios de teléfono de voz. Sin embargo, un retardo de ese orden puede ser destructivo en una transferencia de datos.

**Los seis componentes principales de un sistema de radio celular son:**

1. **Centro de Conmutación Electrónico.**
2. **Controlador de Sitio de Célula.**
3. **Transceptores de Radio.**
4. **Interconexiones del Sistema**
5. **Unidades de Telefonía Móvil**
6. **Protocolo de Comunicaciones**

#### **1. Centro de Conmutación Electrónico:**

El Centro de Conmutación Electrónico es un conmutador telefónico digital y es el corazón del sistema celular. El conmutador realiza dos funciones esenciales: (1) controla la conmutación entre la red telefónica pública y los sitios de células para todas las llamadas de alámbrica a móvil, móvil a alámbrica y móvil a móvil; y (2) procesa información recibida de los controladores de sitio de célula que contiene el estado de la unidad móvil, información de diagnóstico y compilación de facturas. El conmutador electrónico se comunica con los controladores de sitio de célula con un enlace de datos utilizando el protocolo X.25 y la tasa de transmisión de 9.6 kbps a full-duplex.

Hay una red de radio de FM que cubre un conjunto de áreas geográficas (células) dentro de las cuales las unidades de radio móvil de dos vías, como los teléfonos celulares, se pueden comunicar.

Una estación base sirve como un control central para todos los usuarios dentro de esa célula. Las unidades móviles se comunican directamente con la estación base, la cual sirve como una estación retransmisora de alta potencia. Las unidades móviles transmiten a la estación base y la estación base emite esas transmisiones a una potencia mayor. La estación base puede mejorar la calidad de la transmisión, pero no pueden incrementar la capacidad de canales, dentro del ancho de banda fijo de la red. Debido a que las estaciones están distribuidas sobre un área de cobertura del sistema y se administran, también se controlan por un controlador de sitio de células computarizado que maneja un control del sitio de célula y funciones de conmutación. El conmutador o MTSO.

Una estación base se compone de un transceptor de FM de baja potencia, amplificadores de potencia, unidad de control y otro hardware, dependiendo de la configuración del sistema. La radio celular utiliza varios transceptores con potencia moderada en un área de servicio relativamente ancha, al contrario de estaciones móviles, la cual usa un transceptor de alta potencia en una elevación alta. La función de la estación base es una interfaz entre los teléfonos móviles celulares y el MTSO. Se comunica con el MTSO sobre enlaces de información dedicada, metálica y no metálica, y se comunica con las unidades móviles, sobre las ondas de aire, utilizando un canal de control

La función de MTSO es controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas así como la realización de llamadas, lo cual incluye señalización, supervisión, conmutación y distribución de los canales de RF. El MTS, también proporciona una administración centralizada y el mantenimiento crítico para toda la red e interfaces con la Red de Telefonía Pública Conmutada. (PTSN), asimismo, acordar las instalaciones de transmisión de voz con líneas alámbricas y servicios de telefonía con líneas alámbricas convencionales.

Un MTSO se conoce por diferentes nombres, dependiendo del fabricante y la configuración del sistema. MTSO (Oficina de conmutación de Telefonía móvil), fue el nombre dado por los laboratorios Bell; EMX (Intercambio Móvil Electrónico) por Motorola; AEX por Ericson, NEAX por NEC; SMC (Centro de conmutación Móvil) y MMC (Centro Móvil Maestro), por Novatel.

Cada área geográfica o célula generalmente puede acomodar hasta 70 diferentes canales de usuario simultáneamente. Dentro de una célula, cada canal puede soportar sólo un usuario de telefonía móvil a la vez. Los canales están asignados de manera dinámica y dedicada a un solo usuario, por la duración de la llamada, y cualquier usuario puede ser asignado a cualquier canal. Esto se llama reuso de frecuencia, y permite que un sistema de telefonía celular, en un área sencilla, maneje considerablemente más de los 666 canales disponibles. Por lo tanto, la

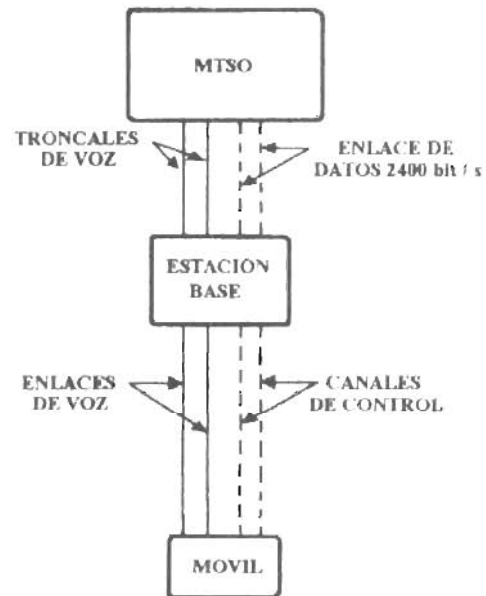
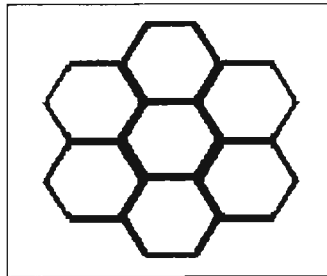


Figura 2.3 comunicación entre el móvil, las BS y el MTSO



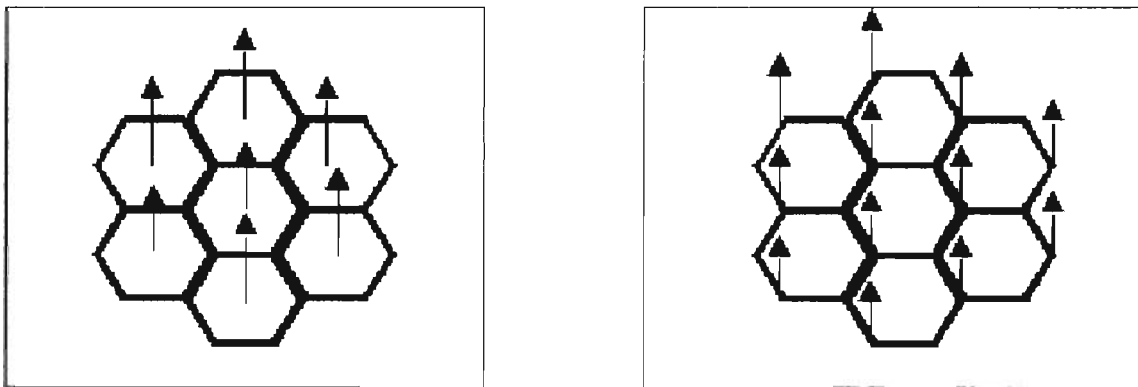
Figura 2.4



**Figura-2.1** concepto de red celular

### Cell-Sites

Los "cell-sites" fueron posicionados en el centro de la célula (cuando empezaba el sistema) y sobre esquinas alternadas de la célula [Fig. 2.2]. Estos sitios de células cubrían a los usuarios móviles de estas específicas celdas en las cuales ellos estaban presentes. Cuando el sistema se fue madurando, cada sitio de célula presente sobre la esquina alterna de la célula usó antenas direccionales con un ancho de haz de  $120^\circ$  para iluminar porciones de las tres células adyacentes que conocían el sitio de célula. Este arreglo proveía una diversidad de radiación espacial y permitía la protección de una señal más uniforme en la presencia de obstáculos como edificios, colinas, etc. El uso de antenas direccionales más que omnidireccionales proveía una relación señal a ruido de 4 – 5 dB .



**Figura 2.2** el comienzo y sistema mas maduro

Los sitios de células fueron interconectados con la Oficina de Conmutación de las Telecomunicaciones Móviles (MTSO) por medio de cables. Las troncales que trabajaban a la frecuencia de voz acarrearon las llamadas de voz y había ligas de conexión de datos de 2.4kbps entre las MTSO y cada uno de los sitios de células para propósitos de señalización [Fig. 2.3].



## Capítulo 2

### El Concepto de celular

#### ¿Como funciona?

Tal como otros aparatos en nuestra vida cotidiana, un teléfono móvil es un verdadero misterio para la mayoría de las personas.

Un teléfono móvil utiliza dos frecuencias diferentes: una para transmitir y otra para recibir, permitiendo una conversación normal.

Antes de la invención de las células, se usaban radioteléfonos que transmitían hacia una antena central en cada ciudad con 25 canales disponibles. Las desventajas de este sistema eran que exigían transmisores muy potentes, o al menos, lo suficiente para transmitir a 60 o a 80 Km. Esto implicaba un sistema muy caro y frecuencias insuficientes.

#### Concepto básico de radio Celular

El concepto básico de radio celular es muy sencillo: cada área se divide en celdas (células) hexagonales que encastran juntas para poder formar un patrón de panel.

Se eligió la forma de hexágono porque proporciona la transmisión más efectiva aproximada a, un patrón circular, mientras elimina espacios presentes entre los círculos adyacentes. Una célula se define por su tamaño físico y, lo más importante, por el tamaño de su población y patrones de tráfico. El número de células por sistema lo define el proveedor y lo establece de acuerdo a los patrones de tráfico anticipados. Cada área geográfica del servicio móvil se distribuye en 666 canales de radio celular. Cada transceptor con un área envolvente tiene un subconjunto fijo de 666 canales de radio disponibles, basados en el flujo de tráfico anticipado.

#### Arquitectura del Sistema

Una red celular usa en sus células "cell-sites" y oficinas de conmutación "switching offices" que funcionan como interfaz para conectarse con la red de línea de tierra "landline" del sistema de telefonía existente y los móviles. Usa el concepto celular (Propuesto por primera vez en los laboratorios Bell por D. H. Ring en 1947) con células hexagonales para dividir el área total de los sistemas sin traslape.

Clase II	2 dBW (1.6 Watts)
Clase III	- 2 dBW (0.6 Watts)

### **Codificación.**

Las tramas de Datos de Banda Ancha del canal de control hacia atrás (RECC) y el canal de voz hacia atrás (RVC) deben ser codificadas para que cada uno binario sin retorno a cero sea transformado en una transición cero-a-uno, y cada cero binario sin retorno a cero es transformado a una transición uno-a-cero.

### **Número de serie.**

El número de serie es un número binario de 32 bits que identifica únicamente a una estación móvil para cualquier sistema celular. Debe ser puesto en fábrica y no alterable en el campo. El circuito que provea el número de serie debe ser aislado y sellado de contacto fraudulento. Cualquier intento de alterar el circuito de número de serie deben dejar a la estación móvil inoperante.

La distribución de bits del número de serie (SN) debe ser como sigue:  
El Código de Fabricante (MFR) ocupa los 8 dígitos más significativos (bits 31 a 24) del número de serie de 32 bits. Los bits 23 a 18 deben ser reservados (inicialmente todos en cero), y los bits 17 a 0 deben ser únicamente asignados por cada fabricante.

### **Resultados del Programa de Evaluación de Calidad en redes de Telefonía Móvil.**

El 7 de mayo de 2001, la Comisión Federal de Telecomunicaciones inició el programa de evaluación de calidad a las redes de telefonía móvil en 19 ciudades del país, mediante el cual se efectúa un monitoreo de los servicios que prestan las concesionarias de telefonía móvil (Bajacel, Cedetel, Iusacell, Movitel, Norcel, Pegaso, Portatel, Telcel y Unefon), con el objeto de promover una mejoría general en la provisión de los mismos, así como fomentar la competencia entre los distintos operadores.

Las mediciones consisten en determinar los porcentajes de intentos de llamadas no completadas y de llamadas caídas, así como el tiempo de establecimiento de las mismas, para cada una de las redes. Para ello, se efectúan 1,825 llamadas por concesionaria desde vehículos en movimiento, los cuales se desplazan en rutas predeterminadas que incluyen tanto avenidas principales, como vías de acceso secundarias de cada localidad.

Los resultados comparativos de los ejercicios de medición efectuados hasta ahora, de acuerdo con las fechas de evaluación especificadas en el "Calendario de Evaluaciones de Calidad en Redes Móviles para el año 2001", se muestran en el apéndice B

## ¿Cómo se presta el Servicio de Telefonía Celular en México?

Se presta a través de dos tipos de asignación de bandas de frecuencia: la banda de frecuencia A y la banda de frecuencia B.

La concesionaria Radio Móvil Dipsa S. A. de C.V. (Telcel), presta el servicio a través de la banda B, misma que cuenta con cobertura nacional.

En 1991 se forma la asociación Mexicana de concesionarios de radiotelefonía celular, A.C., integrada por las compañías restantes que operan en México, las cuales prestan el servicio de radiotelefonía celular por la banda A, estas empresas cuentan con convenios entre sí y pueden prestar el servicio con cobertura nacional (roaming).

Así mismo existe una división regional para la prestación del servicio en México que cuenta con 9 regiones con coberturas y empresas que ofrecen servicios.

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

### Designación y espaciamento de canales.

El espaciamento de canales debe ser 30 kHz. Y el canal de transmisión de la estación móvil 825.030 MHz (y el correspondiente canal de transmisión de la estación base en 870.030 MHz.) debe ser definido como el canal número 1.

### Clases de estaciones móviles.

- Clase I Estación de alta potencia.
- Clase II Estación de potencia media.
- Clase III Estación de baja potencia.

### Tolerancia de frecuencia.

La frecuencia portadora de la estación móvil debe ser mantenida dentro de  $\pm 2.5$  partes por millón (ppm) de cualquier frecuencia de canal asignada, excepto durante la conmutación de canales. Esta tolerancia debe ser mantenida sobre un rango de temperatura ambiente de -30 grados Celsius a +60 grados Celsius, y un rango de voltaje de la fuente de poder de  $\pm 15$  por ciento del valor nominal acumulativo.

La máxima potencia efectiva radiada con respecto a un dipolo de media onda (ERP) para cualquier clase de estación transmisora móvil es de 8 dBW (6.3 Watts). La Potencia Radiada nominal para cada clase de estación transmisora móvil es:

Clase I 6 dBW (4.0 Watts)

estos sistemas es bajo valor de la razón señal a ruido requerido. Para ello es necesario implantar códigos de detección y corrección de errores.

- *Propagación.* La propagación de las señales se llevará a cabo a través de sistemas de microondas y ondas milimétricas, los cuales tienen grandes problemas ocasionados por el medio ambiente.
- *Desarrollo de Software:* Para poder llevar a cabo la integración de los diversos sistemas es necesario el desarrollo de estándares dentro de la industria del software, además si consideramos la gran importancia que tiene el procesamiento digital de las señales para adecuarlas al medio de transmisión y para poder recibirlas adecuadamente, es claro que disponer de mejores algoritmos y aplicaciones será básico dentro del nuevo mercado.
- *Antenas inteligentes:* Las nuevas antenas deberán ser capaces de suprimir las señales no deseadas, auto ajustar la ganancia, e incorporar algoritmos de procesamiento de señales. Y todo esto dentro de tamaños de unos cuantos centímetros.
- *Transmisiones sobre fibra:* Este tipo de transmisión es muy importante dentro de los ITS's
- *Arquitectura de las redes y protocolos:* El principal reto de las redes de datos es el establecer interacción con los sistemas de comunicación inalámbricos a través de pila de protocolos como IP, conmutación por paquetes, Calidad de servicios, y escalabilidad.
- *Dispositivos:* Se requiere el desarrollo de elementos que trabajen en altas frecuencias, que representan un reto para la electrónica actual.

Todos estos requerimientos que plantea la siguiente generación de comunicaciones móviles podría en un momento dado retrasar su lanzamiento en el mercado, o su implementación parcial, dejando para una nueva (la quinta quizás, 5G) el reto de satisfacer a un mercado cada vez más exigente y con necesidades creadas por modas pasajeras.

Toda esta demanda requiere a su vez un desarrollo tecnológico impresionante, incluyendo el empleo de sistemas de altas frecuencias para proporcionar los anchos de banda requeridos, no sustituye a la 3G, sino la complementa.

## **TELEFONIA CELULAR EN MEXICO**

### **Norma Oficial Mexicana (NOM-081-SCT1-1993)**

#### **Introducción**

Para garantizar la compatibilidad, es esencial que se especifiquen tanto los parámetros de los sistemas de radio así como el procedimiento para el proceso de las llamadas. De ahí que resulte imprescindible llevar a cabo una normativa respecto a estos temas antes de que sean implantados en el Mercado.

- Calidad de servicio y control sobre esta. Al usar los sistemas inalámbricos recursos limitados (ancho de banda, potencia), se requiere que los organismos estandarizadores controlen adecuadamente el mercado para evitar abusos.

### Sistemas de la 4G.

Debido a la gran variedad de servicios que plantea la siguiente generación de comunicaciones móviles, hace necesario la existencia de varios tipos de sistemas enfocados a proporcionar un servicio en específico, de esta manera tenemos.

- *Sistema de Acceso a las Comunicaciones Móviles Multimedia (MMAC)*: Este sistema está enfocado a proveer acceso a las redes inalámbricas de alta velocidad. El MMAC provee dos categorías de acceso a las redes inalámbricas. La primera de ellas que operará en interiores y exteriores proveerá tasas de transmisión superiores a los 30 Mbits/s en una frecuencia de 5.2 GigaHertz y empezó a funcionar a partir del 2001. La segunda proveerá tasas aún más altas en interiores (600 Mbits/s), en ondas milimétricas (60 GHz). Estos sistemas están limitados a una pequeña área de cobertura, y no son capaces de proveer ningún servicio dentro de las comunicaciones móviles, su principal uso es el de crear el red dorsal donde se conectarán el resto de los sistemas.
- *Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS)*. Por medio de los ITS's se espera resolver los problemas de accidentes y congestión en las grandes ciudades. Los ITS's son considerados como el negocio más prometedor dentro de las telecomunicaciones en los próximos años, se estima un mercado potencial de superior a los 53 trillones de yenes. Los sistemas de telecomunicaciones relacionados con ITS's se dividen en sistemas de comunicación vehículo base y comunicación entre vehículos.
- *Sistemas de Estaciones en Plataformas de Alta Altitud (HAPS)*: Este tipo de sistema es muy atractivo para las comunicaciones multimedia, ya que puede soportar gran variedad de servicios, acceso altas tasas de transmisión, además de aumentar el área de cobertura.

### Retos tecnológicos de la 4G

Para poder llevar a cabo la implantación de los sistemas planteados en la próxima generación es necesario un desarrollo tecnológico impresionante en varias áreas de las telecomunicaciones.

- *Modulación y transmisión de las señales*: Los sistemas móviles que trabajan a altas frecuencias sufren mucho de interferencia, por lo que son necesarios esquemas de modulación y demodulación que resuelvan estos problemas. Esquemas de modulación multiportadora, incluyendo a OFDM ("ortogonal frequency-division multiplex) son los candidatos. Otro problema que se tiene en

## Cuarta Generación (4G)

Las redes de tercera generación están enfocadas hacia la transferencia de voz y datos con una velocidad máxima de 2Mbps velocidad suficiente, necesaria para proporcionar servicios verdaderamente multimedia (tales como transferencia de archivo de imágenes, video en tiempo real, etc.), los cuales requieren velocidades de hasta 10 Mbps. Estos servicios multimedia de alto nivel son el nicho que pretende atacar la tecnología 4G.

La diferencia básica entre una red de tercera generación y una de 4G es como ya mencione, es la tasa de bit disponible para el usuario. Mientras que las redes 3G ofrecen acceso hasta de 384Kbps, con picos de hasta 2 Mbps(con los que puede manejar servicios de audio, datos e imágenes). La 4G ofrece accesos realmente multimedia, en las que podrá manejarse video en tiempo real con velocidad equivalente a una red muy básica de 10Mbps y mayores.

Para lograr eso necesitas anchos de banda 20 Mhz por canal, por eso la tecnología se considera de banda ancha, ya que la potencia de transmisión es proporcional al ancho de banda de la señal.

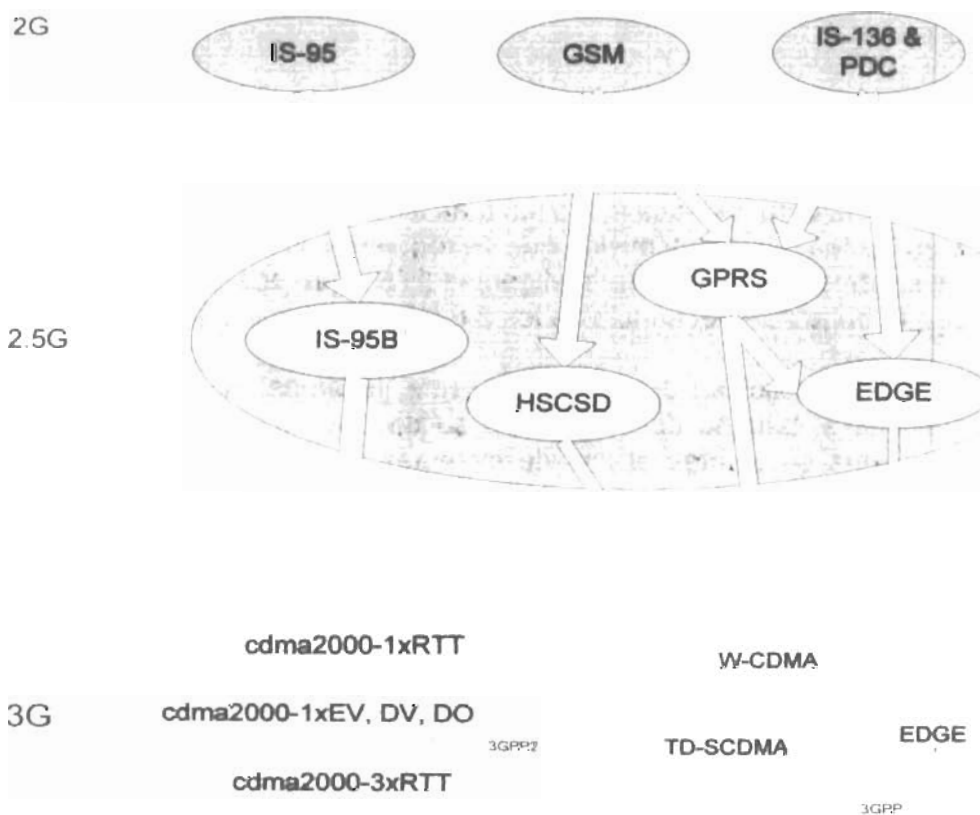
El inconveniente es que el área de cobertura de la estación base es reducido, que es de 200m de radio, por lo tanto la 4G aunque aún no se tiene muy claro como será esto posible, ya se tienen establecidos la mayoría de los requisitos que deberá esta cumplir:

- Alta tasa de transmisión: La tasa de transmisión de las futuras generaciones deberá alcanzar rangos de 2-600 Mbits/s dependiendo del sistema.
- Gran movilidad. Esta característica es de las más difíciles de llevar a cabo, especialmente en las tasas de transmisión que se requieren. No obstante será la base para los sistemas de transporte inteligentes (ITS), que operarán en su primera etapa en la banda de frecuencia de los 5.8 Gigahertz.
- Gran cobertura y simplicidad del "roaming" entre sistemas. Al tener altas tasas de transmisión el tamaño de las células se decrementan, para poder afrontar este problema se plantea el uso de sistemas de estaciones (HAPS, "high altitude platform station") colocadas en aeronaves a 20 kms del suelo que retransmitan la señal. Además se contará con una gran variedad de sistemas, como son redes LAN inalámbricas, ITS's, entre otros, que serán imprescindibles en el futuro, los cuales deberán convivir con las comunicaciones móviles. El primer paso para llevar a cabo esta compatibilidad, llamada "roaming" entre sistemas, es el soporte de redes IP.
- Alta capacidad y bajos costos. La capacidad por unidad área de la 4G deberá ser 10 veces mayor que la de su predecesora, además los costos deberán ser mucho más bajos para que estén al alcance de todos.

Communications), la cual adoptará el modo de alta velocidad (136 HS). El estándar UWC-136 contempla dos tecnologías complementarias. IS-136 para ambientes exteriores el cual ofrece un modo expandido de IS-36, usando mismas frecuencias y anchos de banda (30 KHz) para proporcionar tasas de bit de hasta 384 Kbps. La 136+ emplea modo FDD, con 8 ranuras por trama. 136 HS para ambientes interiores el cual ofrece tasas de bit hasta 2 Mbps y maneja canales de 200 KHz y 1.6 MHz de ancho de banda. Esta tecnología usa los modos FDD y TDD con 16 y 64 ranuras por trama, éstas manejan modulación QAM = Con longitud de trama de 4.61mS, código convencional de tasa variable. UWC-136 USA ATDMA (Advanced TDMA). Este usa tres tipos de portadores 30KHz 200KHz y 1.6 MHz. La de 30 es la misma que usa IS-136 pero con diferente modulación, la de 200 usa los mismos parámetros que la C—SM-EDGE, esta es usada para el tráfico, exteriores y vehicular, provee también tasa de trasmisión de 384 Kps y la de 1.6 MHz, usada en coberturas de interiores y la cual puede proveer tasas de 2Mbps. CDMAONE (15.95) El cual se basa en tecnología CDMA al igual que UMTS.

## EVOLUCION DE LAS TECNOLOGIAS DE LA 2G A 3G

figura 1.1



## Servicios 3G

-Pretende que sus usuarios puedan disponer en una misma terminal de diferentes servicios (voz y navegación web al mismo tiempo) poniendo a disposición los recursos más adecuados a su necesidad (paquetes para navegación, circuito para voz) en cada momento de la conexión.

-En cuanto velocidad, los objetivos son distintos en cada entorno.

-Medio rural KBPS (objetivo 384 KBPS)

-Zona suburbana. 384 Kbps (objetivo 512 Kbps)

-Interior micro células

-Deberán soportarse servicios simétricos y asimétricos.

-Calidad comparable de telefonía fija.

Todos estos servicios y especificaciones de los sistemas propuestos para la tercera generación se conjuntan con la creación de IMT-2000 y del 3GPP (Third Generation Partnership Project) y 3GPP2.

El IMT 2000 no solo un sistema celular sino es un esfuerzo por proveer un sistema de comunicación convergente a nivel mundial el cual incluye todo tipo de redes incluyendo: Sistemas Satélites; Sistemas Celulares Terrestres; Sistemas alambrados y Sistemas de Acceso inalámbrico.

### La propuesta de la tercera generación.

La mayoría de las redes de la tercera generación contemplan trabajar a la misma frecuencia, que las de la segunda generación existente.

El ancho de banda es considerado de 5MHz con lo cual se logra compatibilidad con redes existentes y se pueden proporcionar tasas de bit de 144 Kbps y 384 Kbps con facilidad.

Aunque algunos fabricantes se inclinan por la tecnología de GPRS se apoyará en EDGE.

La tecnología WCDMA es del tipo asíncrono con esparcimiento directo de tasa de transmisión de 4.096 Mbps.

El esquema WCDMA ha sido desarrollado con esfuerzo conjunto entre ETSI (Instituto de estándares en telecomunicaciones y electrónica de Europa) y ARIB (Asociación para negocios y Radio Industria de Japón.)

WCDMA maneja canales de 1.25, 5, 16, 20 Mhz de ancho de banda con tasas de transmisión de 1.024, 4.096, 8.192, 16.389 Mbps respectivamente.

Dentro de WCDMA se encuentran dos opciones: FDD (Frecuency División Duplex) y TDD (Time División Duplex).

Para el estándar IS-136 el cual usa tecnología TDMA, la tecnología dominante para la evolución de la tercera generación es UWC (Universal Wireless



los nuevos métodos de predicción basados en redes neuronales combinados con medidas.

Asimismo, se empiezan a utilizar bases de datos digitales de ciudades para aplicar los más detallados modelos urbanos, tanto en banda estrecha, para el cálculo de la pérdida básica de propagación, como en banda ancha.

### **Tercera Generación (3G)**

Sería la que está pasando en la actualidad. Todos los sistemas 2G y 2.5 G evolucionan a la tercera generación. Ya que aún cuando las redes de comunicación celulares de segunda generación (GSM en Europa, IS-36, IS-95 en USA), no han terminado de desplazar por completo la primera.

En los últimos años se ha visto un gran desarrollo como a nivel investigación, a nivel internacional para finalizar los estándares de la tercera generación que eventualmente de manera gradual solo sustituirán a las redes de la segunda generación. Mientras esto sucede ya se está trabajando en algunos centros de investigación en las tecnologías que constituirá las redes inalámbricas de la cuarta generación.

El cambio de primera a segunda generación se debió a la saturación del espectro reservado para las comunicaciones celulares (Base de 800 Mhz).

La tecnología TDMA (IS-136) logró multiplicar por tres el número de usuarios que FDMA podía atender en un canal y CDMA (en promedio) incrementó este número a cinco.

La introducción de tecnología inalámbrica de la tercera generación no se dará como respuesta solamente a la saturación del espectro radio eléctrico, sino con la finalidad de ofrecer nuevos servicios de telecomunicaciones, que necesiten mejores velocidades de trasmisión a los usuarios. Estos servicios no solamente serán para transferencia de información entre los usuarios sino también entre dispositivos portátiles que funcionaran a nombre de los usuarios. Con acceso a cualquier servicio de Internet Móvil desde un dispositivo móvil en cualquier momento, en cualquier lugar desaparecerán los límites entre comunicación, información, medios y entretenimiento se producirá una verdadera convergencia de servicios.

una actualización del software de radio base. Pero aún así el inconveniente viene en que solo puede ser usado dentro de cortas distancias ya que grandes áreas de cobertura aun es necesario GSMN.

Estos tres métodos pueden combinarse. La combinación de GPRS y EDGE se llama Enhanced GPRS (EGPRS).

EGPRS, puede proveer de una tasa de incluso 384 Kbps pero utilizará todos los recursos de un canal de transmisión.

ECSD es la combinación de EDGE y HSCSD.

También IS-95 (CDMA) es de los servicios más rápidos con velocidades de hasta 144 Kbps, colocándose en la segunda posición atrás de GSM fase II.

Actualmente el mercado mundial de telefonía celular, se divide de la siguiente manera:

GSM	69.83%
CDMA	42.85%
TDMA	9.48%
POC	5.28%
OTRAS	2.55%

Según EMC World Cellular database,  
Marzo 2003.

### **Cobertura en los sistemas 2G.**

Como los tamaños de las celdas son cada vez más reducidos, pasando de miniceldas de 2Km (GSM) a microceldas de unos 500m (DCS-1800) y picoceldas de 50m (DECT), es necesario mejorar la precisión de las predicciones. En efecto, un error de cálculo de cobertura de 100m puede ser admisible en una minicelda, pero no en una picocelda. Por otro lado, se exige la cobertura en entornos especiales: túneles viarios, estacionamientos subterráneos, interiores de edificios, etc., lo que conlleva la caracterización de estos nuevos entornos. También adquiere cada vez más importancia la caracterización del canal en banda ancha para la optimización de la operación. Debe subrayarse que los operadores, una vez superada la fase de despliegue de la red móvil, deben consolidar sus objetivos de calidad-cobertura, con un análisis más detallado de las perturbaciones para compensar sus efectos y mejorar la calidad de las telecomunicaciones.

Una solución que se esta estudiando activamente es la que emplea la Teoría Geométrica de la Difracción (GTD) y Teoría Uniforme de la Difracción (UTD), tanto en forma bidimensional (2D) y tridimensional (3D), combinada con modelos de dispersión radar y linealización de perfiles. Son de destacar también

## Segunda Generación Avanzada (2.5G)

La 2.5 generación es el nombre con el cual se designa a la evolución de los sistemas 2G, la evolución no fue tan radical como la de 1G a 2G. La frontera entre 2G y 2.5 G es algo no definido por completo pero se basa en los servicios ofrecidos por los sistemas para el usuario y para intentar incrementar la capacidad de transmisión, estos nuevos servicios vienen a adicionar a los ya a los ya provistos en la 2G. Se siguen clasificando en los tres tipos principales:

- Tele servicios
- Servicios Portadores
- Servicios Suplementarios

Pero el problema del GSM es la baja tasa de transmisión de la interfaz aérea. Este sistema básico de GSM solo podía proveer una tasa de transmisión de datos de 9.6 kbps, proveer de todos estos servicios a los usuarios es necesario el incrementar la capacidad del sistema es por esto que la 2G se caracteriza también por la utilización de una o de varias de las siguientes tecnologías High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) General Packet Radio Services (GPRS) y Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

HSCSD es la tecnología más fácil para implementar la velocidad. Lo que hace esta técnica es utilizar más de un slot de tiempo para la conexión, con esto se multiplica la tasa de transferencia a un múltiplo de 9.6 Kbps, con esto se capacita al sistema para aplicaciones del tiempo real. Este método es sin duda el más barato pues solo requiere un software que sea capaz de manejarlo y obviamente teléfonos con el soporte necesario.

Pero el precio está en los recursos del sistema ya que se hace uso de los slots de tiempo aun cuando no se transmite nada, y esto en lugares de alto tráfico es casi imposible de sostener. Sin embargo esta técnica no es muy usada ya que la mayoría de los fabricantes se han decidido por GPRS.

El GPRS eleva las tasas de Tx hasta 115 Kbps o incluso más alto si nos olvidamos de la corrección de errores, esta es algo equivalente a un tramo de 8 slots. Pero lo más importante es que el sistema es por switcheo y por tanto los recursos del sistema no son utilizados continuamente, solamente cuando se transmite algo. GPRS es bueno para aplicaciones que no son de tiempo real, tales como e-mail, o navegación por Internet. La utilización de un sistema GPRS es mucho más cara que un sistema HSCSD. Ya que la red necesita nuevos componentes. De hecho este sistema ya es una primera exploración de lo que sería los estándares para la tercera generación.

EDGE originalmente fue pensado para GSM posteriormente fue utilizado por varios estándares. La idea que se propone en EDGE, es la de un nuevo esquema de modulación llamado eight-phase shift keying (8PSK). Esto no causa conflictos con la modulación Gaussian Minimum shift keying (GMSK) y solo se necesita de

Algunos sistemas digitales de la segunda generacion				
	GSM (Global system for mobile communications)	TIA/EIA-136 (telecom industry association/electronic industries alliance)	IS-95 (interim standard 95)	PDC (personal/pacific digital communicatios)
Frecuencia en ragos Mhz				
Banda acoplamiento desacoplamiento	GSM-900 935-960 890-915		Celular 869-894 824-849	940-958 810-826
Banda acoplamiento desacoplamiento	GSM-1800 1805-1880 1710-1785			
Banda acoplamiento desacoplamiento	GSM-1900 1930-1990 1850-1910		PCS 1930-1990 1850-1910	1429-1453 1477-1501
Espacio de canal, kHz	200	1250		25
Minimo numero de canales	125	832	20	1600
usuarios por canal	8	3	<63	3
Tecnica de acceso multiple	FDMA/TDMA		FDMA/CDMA	FDMA/TDMA
Modo duplex	FDD			
Modulacion	GMSK	$\pi/4$ -DQPSK	QPSK (acoplamiento) QPSK (desacoplamiento)	$\pi/4$ -DQPSK

Tabla 1.3

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS (Servicio de Mensajes Cortos "Short Message Service"). La mayoría de los protocolos de segunda generación ofrecen diferentes niveles de encriptación. En los Estados Unidos y otros países se le conoce a éstos como PCS (Servicios de Comunicaciones Personales "Personal Communications Services").

La principal ventaja de los teléfonos de segunda generación sobre sus predecesores analógicos son su gran capacidad y menor necesidad de carga de batería. En otras palabras, ellos satisfacen a los usuarios asignando una frecuencia consumiendo menos potencia

## SERVICIOS DE SEGUNDA GENERACIÓN

CATEGORÍA DE SERVICIOS	SERVICIOS
Tele Servicios	TX de datos a 300, 1200, 2400, 4800, 9600 bps en modo Duplex. Asíncrono, transparente y no transparente, con la interconexión a RTC y RDSI. TX de datos desde 2400 hasta 9600 bps en modo duplex asíncrono transparente y no transparente, con interconexión a las redes públicas de conmutación de paquetes.
Servicios Portadores	TX de datos a 300, 1200, 2400, 4800, 9600 bps en modo duplex asíncrono transparente y no transparente con interconexión a RTC y RDSI. TX de datos desde 2400 hasta 9600 bps en modo duplex asíncrono transparente y no transparente, con interconexión a las redes públicas de conmutación de paquetes.
Servicios Suplementarios	Llamadas en espera Llamadas perdidas

**Tabla 1.2**

Estos sistemas tuvieron gran aceptación en el mundo principalmente GSM el cual fue instalado en Europa partes de Asia y África y América, siendo así para el año 2001 contaba cerca del 67% del total de usuarios de telefonía móvil digital en el mundo.

Las tecnologías y técnicas de acceso son explicadas en el Cáp. 3

También la estructura de las células se modificó así el área de cobertura se dividió en macro, micro y pico (respecto al área de cobertura y tráfico esperado) esto aumentó la capacidad de los sistemas aún más.

Así el tamaño de las células era escogido de acuerdo a cada célula probabilísticas y estadísticos los cuales relacionaban el tráfico esperado en un área con la capacidad del sistema.

La segunda generación entra hacia 1991 teniendo cuatro estándares principales:  
 GSM ( Global System for Mobile Comunication)  
 D-AMPS (Digital AMPS)  
 IS-95 (División Múltiple Access)  
 PDC (Personal Digital Cellular)

De estos cuatro el que mayor éxito tuvo fue GSM; Europa adoptó el GSM. En Norteamérica D-AMPS o TDMA y en Japón PDC.

D-AMPS (IS-54) fue tomada por Norteamérica, este fue con motivo de anteceder a AMPS analógico. Aquí se usa un canal digital de control (DCCW) en comparación con el canal analógico de control del sistema AMPS usando TDMA. Así mismo los canales de tráfico se vuelven digitales y es necesaria la adición de más información para poder ser entendidas por el receptor. Este estándar tiene su base en el esquema TDMA al igual que GSM.

El IS-95. Este sistema incorpora el CDMA, ya no divide un canal de frecuencia en slots de tiempo, ahora usa un código para separar la transmisión de un usuario a otro; esto es a un usuario se le agrega un código y a otro se le da otro distinto. Los principios del sistema CDMA son también la base para los sistemas de la tercera generación.

En cuanto a PDC. Fue creado en Japón. No fue muy aceptado fuera de él. Pero esto no detuvo a sus creadores, y fue Japón uno de los países pioneros en varias áreas de investigación para desarrollar la tercera generación.

Las ventajas que ofrecieron estos nuevos sistemas fueron:

- Mayor calidad de voz
- Menor costo de operación de las terminales
- Mayor nivel de seguridad
- Roaming internacional
- Soporte para terminales de menor potencia
- Una mayor variedad de servicios

Al ser varios estos tenían que brincar un nivel de competencia, es por ello que entre ellos proveían un cierto tiempo y número de servicios. Podríamos dividirlos en tres tipos: Tele servicios, servicios portadores y servicios suplementarios como en la siguiente tabla.

- \_ Sistemas de baja capacidad o eficiencia radioeléctrica que implica un gran consumo de frecuencias o bien instalaciones caras.
- \_ Sistemas analógicos que implican una tecnología voluminosa y de difícil mantenimiento.
- \_ Sistemas propietarios, es decir, dependencia de un único fabricante.

El siguiente cuadro muestra algunos sistemas de telefonía celular empleados durante la primera generación:

Sistema	País	No. de Canales	Espaciado (kHz)
AMPS	EE.UU.	832	30
C-450	Alemania	573	10
ETACS	Reino Unido	1240	25
JTACS	Japón	800	12.5
NMT-900	Escandinavia	1999	12.5
NMT-450	Escandinavia	180	25
NTT	Japón	2400	6.25
Radiocom-2000	Francia	560	12.5
RTMS	Italia	200	25
TACS	Reino Unido	1000	125

**Tabla 1.1**

### **Segunda Generación (2G)**

Se le da este nombre al grupo de sistemas que iniciaron o evolucionaron hacia la utilización de técnicas digitales para realizar las transmisiones. Aquí es donde se hace obvia la frontera entre la primera y la segunda generación de telefonía celular.

Las redes de la segunda generación presentaban una capacidad mucho mayor con respecto a los de la primera generación.

Se logra dividir un canal de frecuencia para ser utilizado simultáneamente por varios usuarios, debido a técnicas digitales de división por tiempo o código TDMA y CDMA, ya que con las técnicas digitales se podía dividir un espacio de tiempo muy pequeño entre varios usuarios, siendo pequeño el tiempo los usuarios no se dan cuenta de la división, en cuanto a la división por código.

## Handoff.

La transición del enlace de comunicación de una estación base a otra, aledaña, se conoce como "handoff".



**Figura 2.5**

A diferencia de los sistemas AMPS y TDMA donde solo existe un tipo de "handoff" llamado "hard handoff", el sistema CDMA define diferentes procesos de "handoff", que se explican a continuación.

El primero es el "soft handoff" o "handoff de software". Durante el "handoff", un móvil mantiene, simultáneamente, conexión con dos o tres estaciones base. Cuando el móvil se mueve de su célula actual (fuente) a la siguiente célula (objetivo), siempre se mantiene una conexión de canal de tráfico con ambas células. En el enlace de bajada, el móvil usa el receptor múltiple o "rake receiver" para demodular dos señales separadas de dos estaciones base diferentes. Las dos señales se combinan para obtener una señal compuesta de mejor calidad. En el enlace de subida, la señal que transmite el móvil se recibe por ambas estaciones base. Las dos células demodulan la señal por separado y envían las tramas demoduladas al centro de conmutación móvil (MSC, "mobile switching center"). El MSC contiene un selector que obtiene la mejor trama de las dos.

El segundo es el "softer handoff". Este tipo de "handoff" ocurre cuando un móvil hace una transición entre dos sectores de la misma célula. En el enlace de bajada,



el móvil mejora la misma clase de combinación de proceso que el "soft handoff". En este caso, el móvil usa su receptor múltiple para combinar las señales recibidas de los dos sectores. En el enlace de subida, sin embargo, dos sectores de la misma célula reciben simultáneamente las dos señales del móvil.

Estas señales son demoduladas y combinadas dentro de la célula, de tal forma que únicamente se envía una trama al MSC.

El tercero es el "hard handoff" o "handoff de hardware". El sistema CDMA hace dos tipos de "hard handoffs". Un "handoff CDMA-a-CDMA" ocurre cuando el móvil hace una transición entre dos portadoras CDMA (por ejemplo, dos canales de espectro esparcido que están centrados en diferentes frecuencias). Este "hard handoff" ocurre también cuando el móvil hace una transición entre dos sistemas diferentes de operadores. Al "handoff CDMA-a-CDMA" también se le llama "D-a-D handoff". Y el "handoff CDMA-a-analógico" ocurre cuando una llamada CDMA se guía a una red analógica. Esto puede ocurrir cuando el móvil viaja en un área donde hay servicio analógico pero no hay servicio CDMA. El "handoff CDMA-a-analógico" se le llama "handoff D-a-A".

### Proceso.

A continuación se muestra el proceso que sigue una llamada para entrar en "hand off".

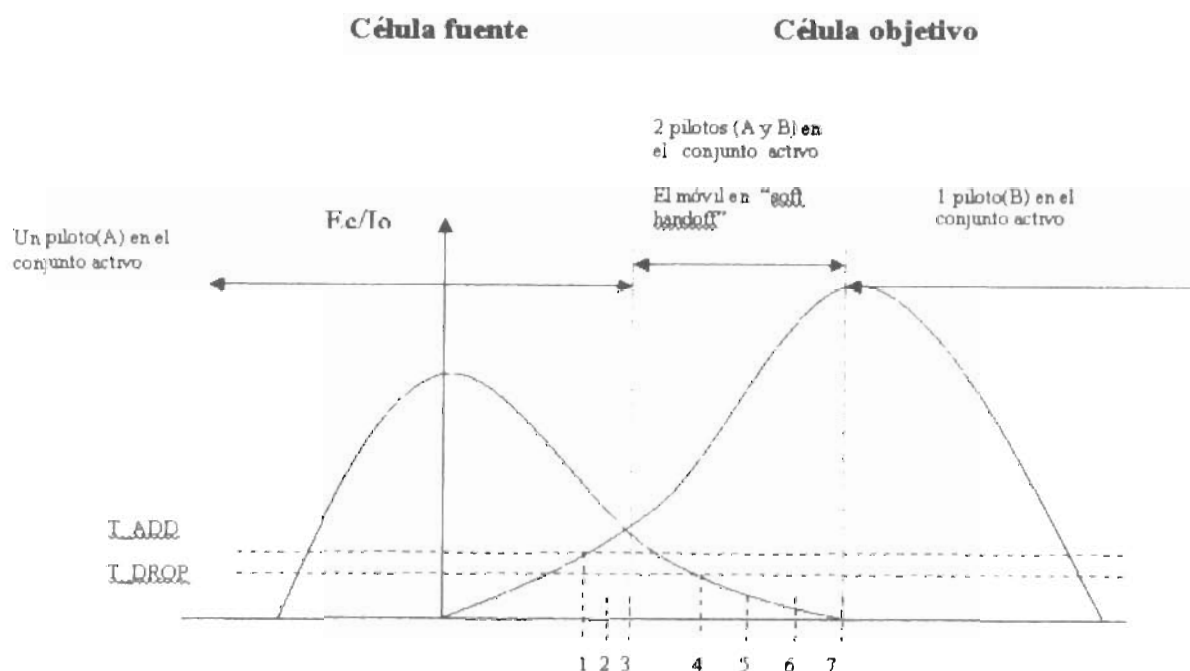


Figura 2.6

1. En primera instancia el móvil se encuentra alimentado únicamente por la célula fuente, y su conjunto activo contiene tan solo al piloto A (célula

fuente). El móvil mide el nivel de  $E_c/I_0$  del piloto B (célula objetivo) y si lo encuentra mayor que "T\_ADD", el móvil envía un mensaje de medida de fuerza de piloto ("pilot strength measurement message") y transfiere al piloto B del conjunto vecino al conjunto candidato.

2. Ahora el móvil recibe un "mensaje de dirección de handoff" ("handoff direction message") de la célula fuente. Dicho mensaje ordena al móvil a comenzar la comunicación en un nuevo canal de tráfico con la célula objetivo. El mensaje contiene el "PN offset" de la célula objetivo y el código de Walsh del nuevo canal de tráfico.
3. Entonces el móvil mueve el piloto del conjunto candidato al conjunto activo. En este momento el móvil envía un "mensaje de acabado de handoff" ("handoff completion message") inmediatamente después de adquirir el canal de tráfico de bajada especificado en el "mensaje de dirección de handoff" ("handoff direction message"). Ahora el conjunto activo contiene dos pilotos en su lista.
4. Después de que tiene dos pilotos, el móvil detecta que el piloto A ha caído por debajo de "T\_DROP" y es entonces cuando el móvil inicia el contador de tiempo o "drop timer".
5. Cuando el "drop timer" alcanza el valor correspondiente a "T\_TDROP" el móvil envía un mensaje de medida de fuerza de piloto ("pilot strength measurement message").
6. Una vez que el móvil recibe un "mensaje de dirección de handoff", el mensaje contiene únicamente el PN offset de la célula objetivo.
7. Y finalmente el móvil tiene que cambiar el piloto fuente del conjunto activo al conjunto vecino, así como enviar un mensaje para indicar que el "handoff" ha terminado.

### **El Roaming.**

En los sistemas modernos, el teléfono móvil recibe una identificación del sistema del operador al encenderse. Si en ese momento, el teléfono móvil detecta que la identificación del sistema no es la de su operador, es porque esta en "roaming"; es decir, esta usando los servicios de otro operador; con lo cual se puede usar un teléfono móvil en diferentes ciudades o países.

Cuando es encendido, el móvil también transmite un pedido de registro, con lo cual, la red no tendrá problemas para encontrar al móvil.

La figura 2.7 muestra un diagrama de una primera generación de la radio celular que incluye las terminales móviles, las estaciones base, y MSCs. En primera generación las redes celulares, los sistemas que controlan para cada mercado

reside en el MSC, que mantiene la información relacionada a todo móvil y también controla cada handoff móvil. El MSC realiza todo el funcionamiento de dirección, como el manejo de la llamada y proceso, teniendo en cuenta, el descubrimiento del fraude dentro del mercado. El MSC se interconecta con el PSTN vía líneas terrestres (las troncales) y un interruptor tándem

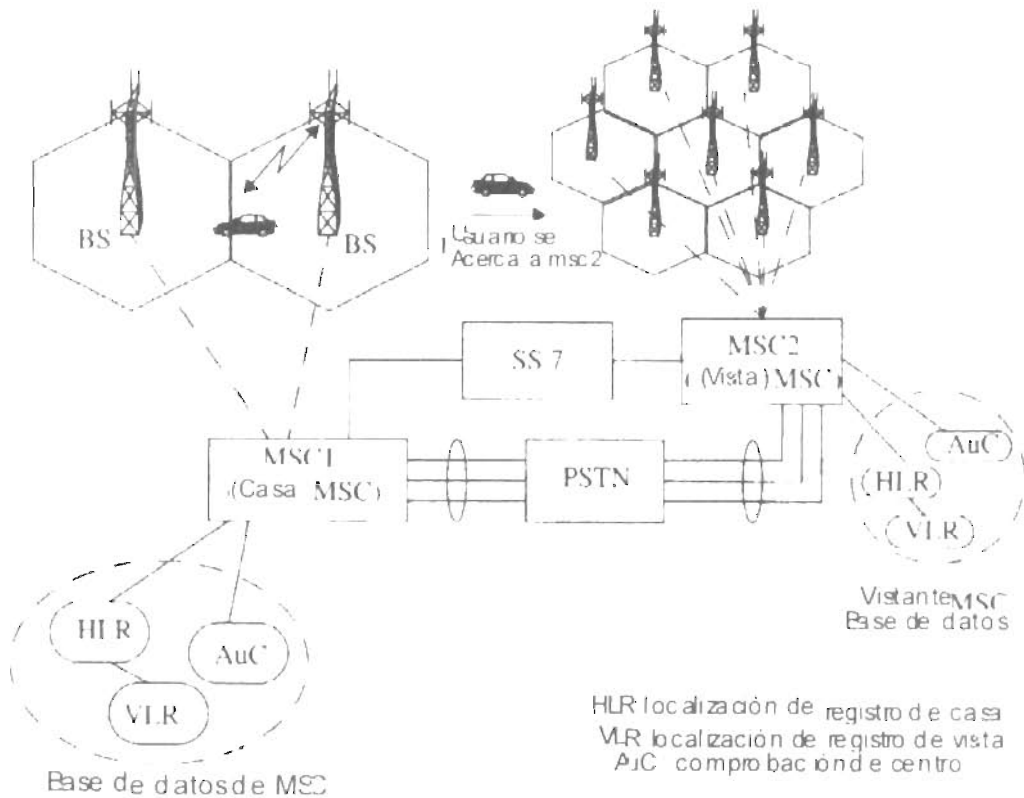
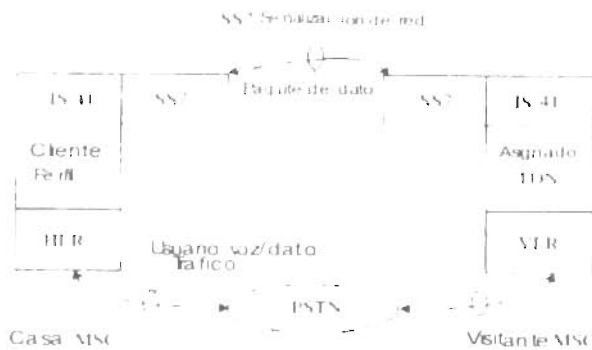


Figura 2.7



Arquitectura de red celular usada para proveer el trafico de usuario y señalización de trafico entre las MSC [de (NAC94) IEEE] Figura 2.8

También se conectan MSCs con otros MSCs vía enlaces dedicados dedicados a la señalización de canales (vea Figura 2.8 para el intercambio de localización, aprobación, e información de señalización de llamada).

Nota en Figura 2.8, el PSTN es una red separada de la red SS7 de señalización. En los sistemas de telefonía celular modernos, se lleva el tráfico de voz de larga distancia en el PSTN, pero la información de la señalización proporcionaba la estructuración de la llamada e informar MSC sobre un usuario particular se lleva en la red de SS7.

Hasta comienzos de los 90s, los clientes de celulares que viajaron entre el sistema celular diferente los tenían que registrar manualmente cada vez que ellos entraran en un nuevo sistema durante el viaje de larga distancia. Esto le exigió al usuario que llamara a un operador para pedir el registro.

IS-41 confía en un rasgo de AMPS llamado el registro autónomo. El registro autónomo es un proceso por el cual un móvil notifica un MSC sirviendo de su presencia y situación. El móvil logra esto codificando periódicamente y transmitiendo su información de identidad que le permite al MSC constantemente poner al día su lista del cliente. El orden del registro se envía con un mensaje de alta de cada canal del mando a intervalos de cinco o diez minutos, e incluye un valor del tiempo para cada base móvil para determinar el tiempo preciso a que debe responder la estación base con una transmisión del registro. En cada informe del móvil están su MIN y ESN durante la transmisión del registro breve para que el MSC pueda validar y puede poner al día la lista del cliente dentro del mercado.

El MSC puede distinguir a los usuarios de la casa de los usuarios foráneos basado en el MIN de cada usuario activo, y mantiene una lista de usuario de tiempo real en el registro de situación de casa (HLR) y registro de situación de visitante (VLR) como mostrado en Figura 2.8. SER-41 le permite al MSC de sistemas vecinos ocuparse del registro y aprobación de la situación de visitante automáticamente para que los usuarios ya no necesiten registrar a mano cuando ellos viajen. El sistema visitado crea un registro de VLR para cada nuevo roamer y notifica el sistema de la casa vía IS-41 así que puede poner al día su propio HLR. En la Segunda generación los sistemas inalámbricos emplean la modulación digital y avanzando hacia las llamadas capacidades del proceso. Los ejemplos de segunda generación los sistemas inalámbricos incluyen el Sistema Global Móvil (GSM), el TDMA y CDMA las normas digitales americanas (la Industria de las Telecomunicaciones Asociación IS-136 y normas de IS-95), Segunda Generación el Teléfono Inalámbrico (CT2). La norma británica para la telefonía inalámbrica, el Sistema de Comunicaciones de Acceso Personal (PACS) el estándar local el Teléfono Inalámbrico europeo normal, y Digital (DECT) que es la norma europea para inalámbrico y telefonía de la oficina.

La segunda generación introdujo nuevas arquitecturas de la red celular que han reducido el cálculo del MSC.

GSM introdujo el concepto de un controlador de la estación base (BSC) que se inserta entre algunas estaciones base y los MSC. En PACS/WACS, el BSC se llama una radio puerto unidad de control. Este cambio arquitectónico ha permitido los datos que unen entre el director de la estación base y el MSC para ser regularizado, los portadores por eso permiten usar a los fabricantes diferentes para MSC y componentes de BSC. Esta tendencia en la regularización e inter operaciones es nueva para la segunda generación de redes inalámbricas.

Estas redes realizan varias otras funciones no realizadas por primeras unidades de suscriptor de generación, como el poder informar recibir, estación base examinar datos adyacentes, poner en código, y encriptación.

El DECT es un ejemplo de la 2G, siendo un estándar que permite a cada teléfono móvil comunicarse con cualquier número de estaciones base por selección automática de estación base con la que tenga mejor nivel de señal. En el DECT, la estación base tiene un buen control en términos de swicheo, señalización, y control del handoff.

En general la 2G fue diseñada para reducir el control de cálculos y el swicheo en la estación base o el MSC, proveyendo mayor flexibilidad.

En la 3G los sistemas inalámbricos se previeron de un solo conjunto de estándares o normas, estos podían conocerse en un ancho rango de aplicaciones de redes inalámbricas dando un acceso universal en todo el mundo, así las diferencias entre telefonía fija y telefonía celular desaparecieron, dando variedad a los servicios de comunicación.

Así la 3G usará el Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN), esto traerá grandes tipos de información, operando en diferentes regiones (de diferentes densidades de población) dando servicio a usuarios estáticos como usuarios que viajan a alta velocidad.

En el próximo capítulo se entrará mas a detalles sobre los diferentes estándares y técnicas de acceso múltiple.

## Capítulo 3

### Tecnologías y Técnicas de Acceso

#### Técnicas de Acceso

En un sistema de radio celular, varios usuarios en una celda se comunican con la estación base de dicha celda. Así mismo, esta celda permite la comunicación del abonado con el resto del mundo.

Así, los usuarios de cada celda deben compartir el espectro de radio asignado a la misma. A esta forma de compartir se le conoce como *esquema de acceso múltiple*. En forma básica los esquemas de acceso pueden agruparse en: acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división de código (CDMA). Sin embargo, usualmente los esquemas prácticos de acceso múltiple son híbridos, es decir, combinaciones de estos esquemas básicos.

En FDMA el espectro total asignado al sistema se divide en varios canales. Un canal único de frecuencia se asigna a cada usuario. Este canal no puede ser compartido por otros usuarios aunque no este transmitiendo información. Si canales adyacentes fuesen usados en una celda se requeriría de bandas de resguardo. Sin embargo, en los sistemas celulares se divide en total de canales en varios grupos (usualmente siete). Esto permite una separación adecuada entre los canales que se asignan a cada celda, evitando la necesidad de bandas de resguardo. Esta forma de acceso se utiliza por todos los sistemas celulares de la primera generación. Usualmente, FDMA se utiliza en conjunto con TDMA y CDMA para incrementar aún más la capacidad del sistema mediante el rehúso de frecuencia.

En el acceso tipo TDMA el canal de comunicación se comparte en el tiempo. El tiempo se divide en intervalos, los cuales se agrupan en tramas. Al usuario que pida servicio se le asignará un intervalo de tiempo en la trama (pueden asignarse más ranuras de tiempo). Este intervalo de tiempo se conserva por el usuario hasta el final de su conversación, al igual que el canal de radio se conserva en FDMA. Los sistemas de segunda generación utilizan acceso TDMA (en combinación con FDMA).

En el acceso tipo CDMA se permite que múltiples señales ocupen la misma banda de frecuencia de radio, transmitiendo simultáneamente sin interferirse entre sí (idealmente), el CDMA puede considerarse una de las aplicaciones de las técnicas de espectro disperso del (spread spectrum). Las técnicas de dispersión útiles para los sistemas de comunicación móvil son las de secuencia directa y la de saltos de frecuencia.

### **“Advanced Mobile Phone Service – AMPS”**

El Servicio de Telefonía Móvil Avanzado (AMPS) fue desarrollado en los Laboratorios Bell a mediados de los 70's. Después de haber implantado un servicio de prueba de un sistema completamente celular en Chicago en 1978, el primer sistema comercial en los E.U. entro en operación en 1982 y 1983.

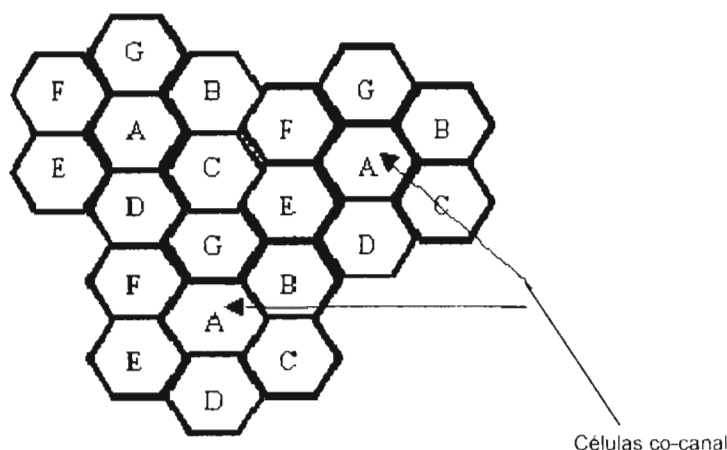
El espectro de frecuencias utilizado tiene un ancho de banda de 40 MHz, en la banda de los 800 900 MHz.

Las estaciones base se colocan en las esquinas de las celdas de manera alterna (en la primera etapa del sistema las antenas se conectan en el centro de las celdas, posteriormente, dependiendo del tráfico por área, se puede pasar a la siguiente etapa, en la que las antenas pasan a ocupar las esquinas, en este momento es cuando se dice que el sistema se encuentra maduro).

### **Reuso de Frecuencia**

El sistema AMPS uso el concepto de la reuso de frecuencia en las comunicaciones celulares, donde, el número total de células son divididas dentro de “clusters” y cada célula dentro del “cluster” le serán asignadas frecuencias las cuales son distintas y no interfieren con las frecuencias de las células adyacentes. El mismo patrón de asignamiento de canales es repetido en los “clusters” adyacentes. En tamaño mínimo de un “cluster” (N) fue determinado de acuerdo a las condiciones de interferencia co-canal y fue directamente relacionado a un parámetro llamado la relación  $d/r$ , donde 'd' es la distancia entre las células las cuales rehusan los mismos canales y 'r' es el radio de la célula. Un valor de  $d/r = 4.6$  fue encontrado adecuado para antenas direccionales y  $D/R$  de 6.0 fue requerido para antenas omnidireccionales para mantener una relación señal a ruido de 17 dB requerida para una buena calidad de transmisión.

Esto corresponde a una valor de  $N = 7$  (para antenas direccionales) y  $N = 12$  (para antenas omni-direccionales) el cual fue utilizado como el tamaño de un “cluster” en el sistema AMPS [Fig. 3.1].



**Figura 3.1** el concepto de reuso de células y células agrupadas en 7

### División de Célula

En áreas donde la densidad de tráfico es muy alta, nuevas células pueden ser agregadas entre los sitios de células ya existentes para obtener un nuevo patrón de células con la mitad de dimensión lineal que los sitios de células originales. La división de células en este patrón incrementa el número de canales, desde que las células pequeñas pueden aguantar muchos canales y largos, manteniendo la misma relación  $d/r$ . Asignando apropiadamente las frecuencias de radio de canal, en sistema AMPS puede permitir la coexistencia de células largas y pequeñas. Cuando el crecimiento de un cliente se incrementa, las células pequeñas pueden ser subdivididas para incrementar la capacidad del sistema. La eficiencia del espectro fue alcanzada en el sistema AMPS por este método bajo el costo del incremento del número de sitios de células requeridos para un área particular.

### Canales de Control

Hay dos tipos de canales de control:

1. "Paging" – Usado para determinar si un móvil estaba disponible para recibir una llamada entrante.
2. "Access" – Usado para la función de hacer una llamada originada desde un móvil (o) para responder a una señal "paging".

Los 21 canales más altos son siempre usados para "paging" y "access" y hay un factor de rehuso de  $N$  para controlar también los canales, el cual es, en general, diferente de los canales de voz. Esta frecuencia del factor de reuso varía de ciudad en ciudad y es transmitida a todos los móviles sobre los canales de configuración. Pero cuando el sistema crece, el número de canales de "access" y "paging" será incrementado para manejar la capacidad de tráfico.



**Tabla 3.1 Características y especificaciones de el sistema AMPS**

Parámetro	AMPS Especificaciones
Acceso	FDMA
Duplexación	FDD
Ancho de banda del canal	30 kHz
Frecuencia de canal hacia atrás	824-849 MHz
Frecuencia de canal hacia adelante	869-894 MHz
Modulación de voz	FM
Desviación de pico: Canales de voz	$\pm 12$ KHz.
Control/dato ancho banda	$\pm 8$ KHz.
Canal de codificación para dato	BHC(40,28) en FC
Transmisión	BHC(48,36) en RC
Índice de control / ancho de banda de canal	10 kbps
Eficiencia de espectro	0.33 bps/Hz
Numero de canales	832
Trafico por canal	1

### El sistema GSM (Global System for Mobiles)

#### ¿Qué es GSM?

Son las siglas de Sistema global para comunicaciones móviles.

Es un sistema estándar para comunicación utilizando teléfonos móviles que incorporan tecnología digital.

Es la evolución tecnológica de los sistemas de comunicación móvil.

El cual usa la técnica de acceso de TDMA el GSM o IS-54.

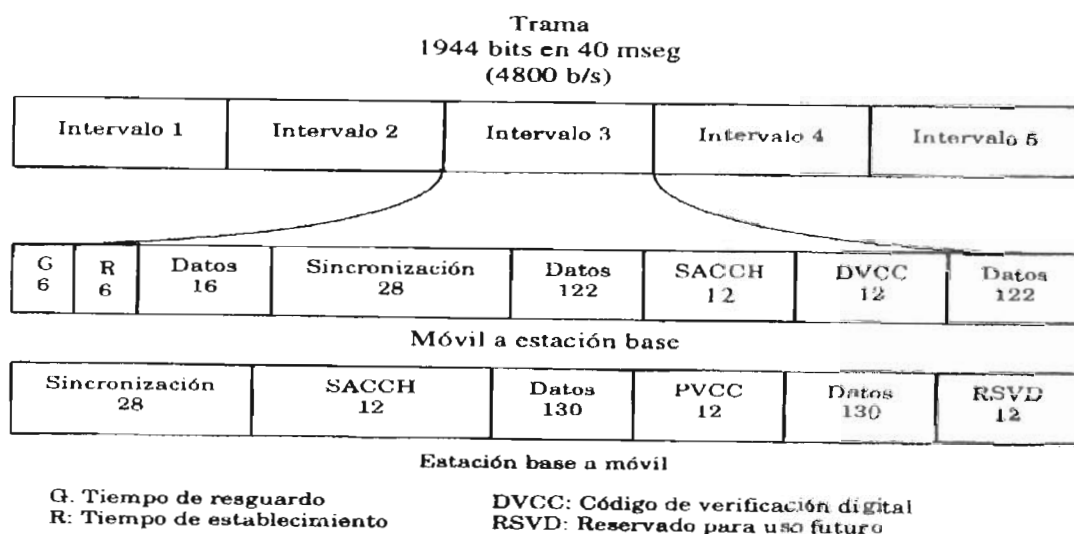
#### El IS-54

El espaciamiento de portadoras en el sistema IS-54 es de 30 kHz, el mismo que en el sistema AMPS de primera generación. Las compañías que presenten el servicio pueden seleccionar el convertir canales analógicos a operación digital para aliviar la congestión de tráfico en las estaciones base. Cada canal digital opera a 48.6 kb/seg, soportando las señales de seis usuarios. El codificador de voz utilizado es del tipo de predicción lineal, con excitación por suma de vectores (VSELP) y la velocidad de salida es de 7.95 kb/seg (13 kb/seg) con protección de errores.

La estructura de trama se muestra en la figura 3.2 La duración de la trama es de 40 mseg, dividida en seis ranuras de tiempo de 6.67 ms. En una ranura de tiempo se envían 324 bits, los cuales incluyen 260 bits de información de usuario y 12 bits de información de control del sistema. Los 52 bits restantes consisten de una señal de sincronización (28 bits), un código digital de información (12 bits) y, en la

dirección móvil a estación base, un intervalo de tiempo de protección de 6 bits y para permitir al transmisor el alcanzar su nivel total de potencia de salida.

El campo de sincronización de 28 bits contiene un patrón conocido de bits, los cuales permiten al receptor establecer sincronía de bit y entrar a un igualador adaptativo. El sistema permite tener seis patrones de sincronización diferentes, uno para ranura de tiempo en la trama de 40 ms. Esto permite al receptor sincronizarse a su ranura de tiempo asignada. El código de verificación digital tiene las mismas funciones del tono de supervisión de audio en el sistema AMPS analógico. Existen 256 códigos de 8 bits, protegidos por un código de Hamming.



**Figura 3.2** Estructura de la trama de IS-54

Cada estación tiene asignado uno de estos *códigos*, y el procesamiento de verificación evita que el receptor se sincronice con una señal interferente de una celda distinta.

El codificador decodificador de voz para la norma IS-54 procesa señales de entrada en bloques de 20 ms de duración (de la misma forma que en GSM). El transmisor ensambla 40 ms de información de voz y entrelaza los bits para dispersar las ráfagas de errores en el canal sobre un intervalo de tiempo más largo. Un intervalo de tiempo de 40 ms de información (520 bits) se envía en dos ranuras de tiempo.

Aunque los sistemas de primera generación utilizan modulación con envolvente constante, la norma IS-54 utiliza una técnica de modulación lineal, modulación por cambio de fase diferencial (DPSK).

**Tabla 3.2 Especificaciones de sistema IS-54**

Parámetro	Especificación IS-54
Acceso	TDMA/FDD
Modulación	11/4 DQPSK
Ancho de banda del canal	30 kHz
Frecuencia de canal hacia atrás	824-849 MHz
Frecuencia de canal hacia adelante	869-894 MHz
Velocidad de transmisión	48.6 kbps
Eficiencia de espectro	1.62 bps/Hz
Ecuador	No especificado
Código de canal	7 bit CRC
Usuarios por canal	3 (rango lleno de 7.95 kbps / usuario) 6 (con medio rango de 3.975 kbps/usuario)

## SERVICIOS GSM

### -SMS – “Short Messaging Services”

El servicio de mensajería corto (SMS) sirve para enviar y recibir mensajes de texto de y hacia teléfonos móviles. El texto puede estar compuesto de palabras o números o una combinación de caracteres alfanuméricos. SMS fue creado como parte de la fase 1 estándar de GSM. El primer mensaje corto se cree que ha sido enviado en diciembre de 1992 de una computadora personal (PC) a un teléfono móvil sobre la red GSM Vodafone en Ucrania. Cada mensaje corto esta arriba de los 160 caracteres de tamaño cuando se utiliza el alfabeto Latin y 70 caracteres cuando se utilizan alfabetos que no son latinos como el arábico y el chino.

### Call waiting & Call hold”

Si estas usando el teléfono, el servicio de “call waiting” te alertara de una segunda llamada. Con esto no perderás una llamada que esté por entrar.

Con el servicio “Call Hold” puedes poner a una persona que este hablando contigo en espera de manera que puedas realizar otra llamada y entonces puedas cambiar entre las dos llamadas.

- “Call forwarding”

El servicio de reenvío de llamadas se usa para poder re-direccionar una llamada entrante de un teléfono hacia un teléfono con un número distinto.

- “Calling line identity”, CLI

El servicio de identidad de la línea que llama despliega el número de la llamada entrante.

- El estándar WAP esta incompleto, con elementos claves como "Push" (envió proactivo de información a los dispositivos móviles) y telefonía inalámbrica (actualizando los reportes de direcciones y el cómo) incluido en el WAP 1.2, estandarizado después de 1999

## **GPRS**

El sistema GPRS, que representa un pago por volumen de datos transferidos y no por tiempo de conexión, se convertirá en "un paso intermedio antes de la consolidación de la tercera generación de móviles".

## **CDMA "Code Division Multiple Access"**

La tecnología CDMA ("Code División Multiple Access") genérica aparece como la base tecnológica por excelencia de la generación de comunicaciones móviles 3G, habiendo entrado ya; de hecho, la tendencia global en la industria es la adopción de las tecnologías CDMA. CDMA que proporciona mejores prestaciones que las tecnologías celulares convencionales tanto en calidad de las comunicaciones como en privacidad, capacidad del sistema y flexibilidad y, por supuesto en ancho de banda.

CDMA es una tecnología genérica que puede describirse, a groso modo, como un sistema de comunicaciones por radio celular digital que permite que un elevado número de comunicaciones de voz o datos simultáneas compartan el mismo medio de comunicación, es decir, utilizan simultáneamente un "pool" común de canales de radio, de forma que cada usuario puede tener acceso a cualquier canal. El canal es un trozo del espectro de radio que se asigna temporalmente a un tema específico, como, por ejemplo, una llamada telefónica.

Con base a esto se observa que CDMA es una técnica de acceso múltiple. En CDMA, cada comunicación se codifica digitalmente utilizando una clave de encriptación que solamente conocen los terminales involucrados en el proceso de comunicación y únicamente durante la duración de la comunicación. La codificación digital y la utilización de la técnica de espectro esparcido, otra característica inherente a CDMA se pueden considerar como los puntos de identificación de la tecnología CDMA.

Un ejemplo es sistema IS-95 usa la técnica de acceso CDMA

## **Tecnología CDMA**

La distribución celular y la reutilización de frecuencias son dos conceptos estrechamente relacionados con la tecnología CDMA; el objetivo es realizar una subdivisión en un número importante de células para cubrir grandes áreas de servicio. En los sistemas basados en la subdivisión celular (típicamente células

- **Servicios de Datos**

El empleo de un teléfono GSM para enviar y recibir datos es el bloque esencial para el acceso móvil a Internet y la transferencia móvil de datos. Actualmente GSM tiene una transferencia de datos de 9.6Kbps. Los nuevos desarrollos tecnológicos que aumentarán las velocidades de transferencia de datos para los usuarios de GSM son HSCSD ("high speed circuit switched data") y GPRS ("General Packet Radio Service").

### **WAP, "Wireless Application Protocol"**

WAP es simplemente un protocolo, la manera estandarizada de cómo un teléfono móvil habla a un servidor instalado en la red de teléfonos móviles. WAP es un intento por definir un estándar sobre como el contenido de la Internet es filtrado a las comunicaciones móviles. WAP fue desarrollado para ser la manera de hacer disponible el contenido del Internet a las terminales móviles. Una de las razones por las que la industria móvil se ha emocionado con WAP es porque combina 2 de las más grandes industrias en crecimiento: la inalámbrica y la Internet.

El Protocolo de Aplicación Inalámbrica esta proyectado como un protocolo escalable diseñado para ser usado con:

- Cualquier teléfono móvil de estos con una línea de "display" a un teléfono inteligente
- Cualquier servicio existente o planeado como SMS, Data, USSD y GPRS.
- Cualquier estándar de red móvil como CDMA ("Code División Multiple Access"), GSM ("Global System for Móviles") o UMTS ("Universal Mobile Telephone System")
- Terminales de entrada múltiple como teclados "touch-screens" y otros.

El WAP incorpora un "micro-browser" relativamente simple en el teléfono móvil. WAP apunta ha cambiar los teléfonos móviles del mercado a "teléfonos inteligentes basados en red".

### **Desventajas**

- Es complicado configurar teléfonos WAP para los nuevos servicios con WAP, con 20 o más parámetros diferentes que necesitan ser introducidos para obtener el acceso a los servicios WAP.
- Comparado con la base instalada de los teléfonos fáciles de manejar SMS, el número relativo de teléfonos que suportan WAP es pequeño. WAP es un protocolo que corre sobre la parte más alta de un portador esencial. Ninguno de los portadores existentes GSM para WAP, "Short Message Service" (SMS), "Unstructured Supplementary Services Data" (USSD) y "Circuit Switched Data" (CSD) están optimizados para WAP.

hexagonales) y en el principio de reutilización de frecuencias, el nivel de prestaciones depende de modo crítico, del control de la interferencia mutua debida a la reutilización de frecuencias. En lo que concierne al concepto de reutilización, aunque hay cientos de canales disponibles, si cada frecuencia fuera asignada a una sola célula, la capacidad total del sistema sería igual al número total de canales con base al concepto de probabilidad de Erlang, lo cual originaría que el sistema pudiera albergar solamente a unos pocos miles de abonados. Mediante la reutilización de canales en un gran número de células, el sistema puede crecer sin límites geográficos. Desde un punto de vista de distribución celular, la tecnología CDMA se puede contemplar como una superación de la tradicional subdivisión celular hexagonal.

CDMA se fundamenta en la técnica de espectro esparcido/disperso ("Spread Spectrum"), una técnica que se ha estado utilizando habitualmente en el sector de defensa como medio para eliminar interferencias ("anti-jamming") o para encriptación. De hecho, CDMA fue propuesto como esquema teórico, a modo de "spinn-off" del ámbito militar, a finales de la década de los 40 pero su aplicación práctica en el sector comercial tuvo lugar unos 40 años más tarde. Esta técnica se basa en esparcir el espectro de frecuencias de una señal en un ancho de banda mayor que el mínimo necesario para la transmisión a lo largo de toda la transmisión, es decir, las frecuencias que componen la señal viajan esparcidas a lo largo de todo el enlace con lo cual se consigue camuflar la señal. Al llegar al receptor la señal se recompone, es decir, las frecuencias se "juntan otra vez" para obtener la señal inicial que ha partido del emisor. De esta forma, se pueden obtener una serie de enlaces que utilizan la misma banda de frecuencia simultáneamente sin que se produzcan interferencias. La técnica de espectro disperso presenta dos modalidades: "frequency hopping" (FH) o salto de frecuencia y "Direct Sequence" (DS) o secuencia directa. El salto de frecuencia se puede describir en términos de que la señal se esparce transmitiendo una ráfaga corta en una frecuencia para, a continuación, saltar a otra frecuencia emitiendo otra ráfaga corta y así sucesivamente. "Direct Sequence" se puede describir en términos de que utiliza una secuencia de códigos de alta velocidad conjuntamente con la información básica que se quiere transmitir: esta secuencia se utiliza directamente para modular la portadora de radiofrecuencia (de ahí el nombre de "Direct Sequence"). En este esquema de secuencia directa cada símbolo (grupo de bits) se multiplica por un código de esparcimiento/spreading llamado secuencia de chip de forma que la banda de frecuencias de la señal se aumenta. La razón entre el número de chips por bit, que se conoce como la relación de "spreading", constituye un factor de gran importancia para evaluar la resistencia de la señal ante interferencias. CDMA utiliza el esquema de secuencia directa

### **El escenario de enfoques/normas en CDMA.**

Dentro de esta tecnología genérica CDMA existe una variedad de diferentes enfoques generados por empresas y/o asociaciones que constituyen el abanico de opciones para implantar sistemas ya operativos; estos enfoques están estrechamente asociados al tema de las normas, es decir, de la armonización, ya

que los diferentes enfoques compiten para constituir normas. Existen dos enfoques/normas fundamentales dentro de la tecnología genérica CDMA, los dos de banda ancha y que constituyen las dos opciones en cuanto a elección: W-CDMA (Wideband-CDMA) y cdma2000, que proviene, esta última de cdmaOne (IS-95 CDMA, el CDMA de la segunda generación). W-CDMA aparece con importantes expectativas no solo en Estados Unidos sino también en Europa donde UMTS constituye la versión europea de la norma W-CDMA. Desde un punto de vista de trayectoria evolutiva W-CDMA aparece más fuertemente asociado a Japón y Europa, mientras que Estados Unidos aparece asociado a cdma2000, fundamentalmente porque CDMA en su forma cdmaOne es una tecnología 2G bien establecida en Estados Unidos; sin embargo, las tendencias en Estados Unidos apuntan a un posible desplazamiento hacia W-CDMA. La ITU (International Telecommunication Union) ha aprobado a cantidad considerable de especificaciones para velocidades de datos y requisitos hacia 3G lo que aumenta las posibilidades de movimiento.

Cdma2000 utiliza la misma tecnología subyacente y espectro de radio que cdmaOne, con lo cual el proceso de migración de cdmaOne a cdma2000 aparece suficientemente viable. En este proceso de migración, aparecen como primera etapa intermedia cdma2000 1x que se inscribe en el ámbito de las tecnologías de transición hacia 3G, o sea, las tecnologías conocidas como 2.5G, donde también se encuentra GPRS cuyo origen es GSM. Cdma2000 1x, apoyado por los fabricantes coreanos Samsung, Hyundai y LG Electronics, está funcionando ya en Corea del Sur. A cdma2000 1x le sigue, en el proceso evolutivo hacia 3G, la versión cdma2000 1xEV (1x Evolution) donde, a su vez, aparecen dos etapas: la primera dedicada solamente a datos (1xEV-DO) y la que cubre ya datos y voz (1xEV-DV).

Qualcomm, el fabricante de chips y software para móviles e infraestructuras inalámbricas y creador de cdmaOne es, obviamente, uno de los promotores de cdma2000, pero la incertidumbre en torno a quién será el ganador, cdma2000 o W-CDMA, hace que las diferentes compañías estén trabajando para poder funcionar con los dos sistemas. Así, la propia Qualcomm está presente en los dos enfoques, cdma2000 y W-CDMA (W-CDMA le permitirá entrar en el mercado europeo) y por otra parte, firmas como Motorola o Lucent están trabajando en equipos para sistemas cdma2000, así como una parte importante de los fabricantes asociados con UMTS.

El estado de la situación y el ambiente general parece indicar que W-CDMA cubrirá la mayor parte del mundo: UMTS aparece como un factor crucial en este movimiento. Sin embargo, factores como el hecho de que la tecnología cdma2000 pueda estar disponible antes que W-CDMA o los tiempos involucrados en el despliegue de la redes pueden ayudar a inclinar la balanza en un sentido u otro. En cualquier caso, el escenario aparece aún confuso en términos de cómo se van a configurar las cuotas de mercado entre los dos contendientes: la forma y rapidez en que produzca el despliegue de las redes está fuertemente asociado a esta configuración de cuotas de mercado. También la compatibilidad entre sistemas y

la cartera de servicios, dos temas perceptibles por el usuario, son cruciales como siempre para el desarrollo del mercado y, por supuesto, el tema de los precios. Subyacente a todo esto aparecen los temas puramente tecnológicos: cdma2000 presenta mejores características en compatibilidad y facilidad para la migración (bastante más económica que W-CDMA) además de que utiliza el espectro con más eficacia ya que se pueden conseguir siete portadoras en 10MHz frente a las dos de W-CDMA y, por otra parte, cdma2000 utiliza el mismo espectro frente a W-CDMA que necesita nuevo espectro. Qualcomm no ha producido recortes masivos en su plantilla como ha ocurrido en el resto de la industria de telecomunicaciones y de la industria inalámbrica en particular y, por otra parte, el precio de sus acciones permanece dentro de una estabilidad razonable.

**Tabla 3.3 Diferencias principales entre CDMA2000 y W-CDMA**

	cdma2000	W-CDMA
Sincronización de la estación base	Sincronizado	No sincronizado
Adquisición y detección de la estación base	Correlación PN de tiempo desplazado	Búsqueda de códigos paralelos en tres pasos para la detección de la estación base y la sincronización de ranuras / tramas
Longitud de la trama	20 ms	10 ms
Velocidad de la plaqueta	3.6864 Mcps	4.096 Mcps *
Piloto de enlace delantero para el cálculo del canal	Piloto común CDM	Piloto dedicado TDM
Formación de haz de antena y haces cerrados	Piloto auxiliar dedicado CDM	Piloto dedicado TDM

### Las ventajas de CDMA.

Las ventajas y los movimientos empresariales en torno a CDMA aparecen suficientemente claras como para afirmar que la tendencia global es hacia la tecnología genérica CDMA. Esta tecnología presenta las siguientes ventajas fundamentales: (1) mejora del tráfico telefónico; (2) mejora de la calidad de la transmisión de voz y eliminación de los efectos audibles del "fading" (atenuación) multitrayecto; (3) reducción del número de lugares necesarios para soportar cualquier nivel de tráfico telefónico; (4) simplificación de la selección de lugares; (5) disminución de las necesidades en despliegue y costos de funcionamiento debido a que se necesitan muy pocas ubicaciones de células; (6) disminución de la potencia media transmitida; (7) reducción de la interferencia con otros sistemas electrónicos.



## El sistema IS-95

En este sistema los usuarios comparten un canal común para transmisión. La velocidad básica de transmisión de los usuarios es de 9.6 Kb/s. Ésta se dispersa en el canal a una velocidad de transmisión de "chip" de 1.2286 mchip/seg (factor de dispersión de 128) usando varias técnicas combinadas. El proceso de dispersión es diferente entre el canal directo (base a móvil) y el canal inverso (móvil a base). En el canal directo, la secuencia de datos se codifica usando un codificado convolucional (velocidad media), se entrelaza y dispersa por una de 64 secuencias de dispersión ortogonales (funciones de Walsh). A cada móvil en una celda dada se le asigna una secuencia de dispersión diferente, proporcionando una separación perfecta entre las señales de los diferentes usuarios, al menos para una trayectoria única en el canal. Para reducir la interferencia entre los abonados que utilizan la misma secuencia de dispersión en diferentes celdas, y para proporcionar las características de densidad espectral de banda ancha requeridas (no todas las funciones de Walsh producen un espectro de potencia de banda ancha), todas las señales de una celda particular se alteran, usando una secuencia pseudo aleatoria de longitud  $2^{15}$  chips

La ortogonalidad entre los usuarios de una misma celda se conserva debido a que las señales se alteran de manera idéntica. Un canal piloto (un código) se proporciona en el canal directo para estimación del canal. Esto permite tener detección coherente. El canal directo se transmite a una potencia mayor que la de los canales de los usuarios.

En el canal inverso se utiliza una estrategia de dispersión diferente debido a que cada señal recibida llega a la base por un canal de propagación diferente. La secuencia de datos del usuario se codifica convolucionalmente a una velocidad de  $1/3$ . Después del entrelazado, cada bloque de seis símbolos codificados se mapea en una de las 64 funciones de Walsh ortogonales. Se realiza después una dispersión final de cuatro veces, dando una velocidad de 1.228 mchips/seg, mediante la dispersión de la secuencia resultante a 307.2 kchip/seg por códigos específicos de usuario y de la base de periodos de 2421 y de 215 chips respectivamente.

Otra característica esencial en el enlace inverso es un control preciso de la potencia de transmisión de los móviles. Esto se hace para evitar el efecto extremo lejano-extremo cercano, el cual se genera por los diferentes desvanecimientos, oscurecimientos y pérdidas por trayectoria que sufren las diferentes señales.

Se utiliza una combinación de control de potencia de lazo abierto y control de potencia de lazo cerrado rápido. Los órdenes del lazo cerrado se transmiten a una velocidad de 800 b/seg. Estos bits se roban de las tramas de voz.

En este sistema se utilizan receptores tipo rake tanto en la estación base como en la unidad móvil, para distinguir y combinar los componentes de trayectorias múltiples. Esto reduce significativamente la amplitud de los desvanecimientos.

Esta arquitectura del receptor se utiliza también para proporcionar diversidad de estaciones base durante las transferencias de llamada suave. En el proceso de transferencia de llamada, el móvil se encuentra realizando una transición entre las estaciones base y mantiene los enlaces con las estaciones durante la transición.

El receptor del móvil combina las señales provenientes de las estaciones base, de la misma forma como combina las señales provenientes de diferentes trayectorias originadas en una sola estación base.

El sistema CDMA IS-95 proporciona varios beneficios, entre los que se pueden mencionar: Incremento en la capacidad, eliminación de la planeación de frecuencia, flexibilidad para manejar diferentes velocidades de transmisión (por ejemplo con codificadores de voz a 13 kb/seg de mayor calidad). Además, el CODEC de velocidad variable, el control de potencia, el margen pequeño de desvanecimiento y la corrección contra errores contribuyen a lograr menor requerimiento de potencia de transmisión de radio.

Como sucede con el sistema IS-54, el sistema IS-95 es compatible con la norma IS-41 de señalización y es una norma de modo dual, lo que implica que puede operar en modo COMA o en modo analógico (AMPS).

### **“Universal Mobile Telecommunications System”, UMTS**

El UMTS , la tercera generación de redes de comunicación móviles, es en la actualidad especificado como parte de la iniciativa tecnológica europea RACED.

El anhelo de UMTS es implantar la movilidad terminal y la personal en su sistema, proporcionando un único sistema mundial estándar. Fuera de Europa, UMTS es conocido como Telecomunicación Internacional Móvil 2000 (IMT 2000), lo que reemplaza a su nombre anterior de Tierra Pública Futura de Sistema de Telecomunicaciones Móviles (FPLMTS).

UMTS está concebido como el proveedor de la infraestructura necesaria para proporcionar un completo abanico de servicios digitales multimedia o tele-servicios, requiriendo canales “bit-rates” o menos que el techo superior de 2 Mbps, como lo asignado en la Radio Conferencia Administrativa Mundial (WARC)'92 bandas.

UMTS debe además mantener el servicio móvil tradicional, proporcionado actualmente en redes de comunicación distintas, incluyendo celulares, paginados, circuitos locales sin cables y servicios de satélites.

Los teleservicios móviles requieren un grado más alto de bits, de 2 a 155 Mbps, y están previstos para llevar a cabo por los servicios móviles (MBS), un posible sucesor de UMTS, que está aún en estudio.

UMTS jugará un rol importante en la creación de los mercados futuros para las comunicaciones inalámbricas multimedia de alta calidad cuyo número de usuarios se incrementará a cerca de 2 billones en todo el mundo para el año 2010.

### ¿Por qué UMTS?

UMTS hará posible la entrega de servicios de información, comercio y entretenimiento de banda ancha de alto valor, a usuarios móviles via redes fijas, inalámbricas y satelitales.

UMTS proporcionará entregar a bajo costo, una alta capacidad en las comunicaciones móviles ofreciendo tasas de transmisión que van por arriba de los 2Mbps con "roaming" global y otras capacidades avanzadas. Será capaz de llevar fotografías, gráficos, comunicaciones en video y otros tipos de información de banda ancha así como voz y datos, dirigido a personas que pueden estar en movimiento utilizando un innovado esquema de acceso por radio y un núcleo de red mejorado.

Este sistema empezará a operar comercialmente a partir del 2001. Algunas licencias ya han sido entregadas en algunos países de Europa. Ahora existen sistemas de prueba que están siendo probados en algunos lugares.

UMTS es uno de los mejores sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación que están siendo desarrollados dentro de la estructura que ha sido definida por la ITU y que se conoce como IMT-2000.

## Capítulo 4

### Estrategias de Diseño para Redes de Telefonía Celular

#### HERRAMIENTAS DE DIMENSIONADO

El ingeniero dispone de varias herramientas a la hora de dimensionar o evaluar el correcto funcionamiento de una red de telecomunicación. Cada una de ellas aporta ventajas y tiene sus inconvenientes. Las alternativas de dimensionado no son exclusivas entre si sino que se complementan.

#### Análisis matemático

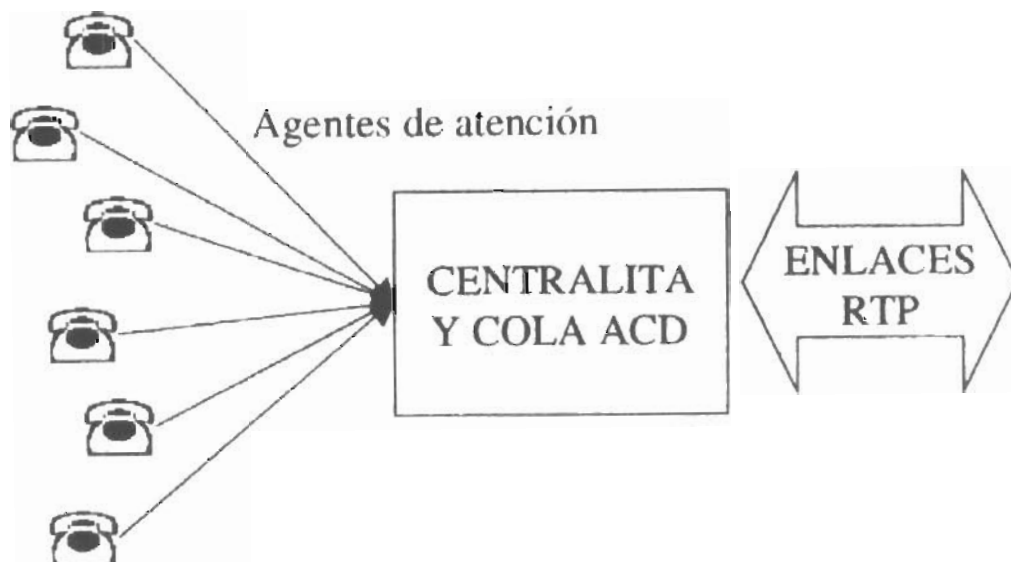
El análisis matemático de los sistemas de telecomunicación solamente es posible para sistemas extremadamente simples. Así, por ejemplo, en el caso de un sistema M/M/C como el de la figura 4.1 disponemos de la solución exacta que se ha descrito. Estos sistemas se basan en la notación Kendall utilizada para definir un sistema concreto basado en algún tipo de colas. Se define un sistema de cola como A/B/C/D/E donde el significado de cada símbolo es el siguiente:

A representa el régimen de llegadas, B representa la duración del tiempo de servicio, C representa el número de servidores disponibles, D representa el número máximo de elementos del sistema es decir el número de canales.

Sin embargo, si el tiempo de ocupación del canal fuera determinista solamente existen soluciones aproximadas. En caso de que la estadística del tiempo de servicio sea cualquiera no hay solución, aunque pueden utilizarse soluciones aproximadas con mayor margen de error.

Además de ser solamente valido para modelos muy simples, el análisis de teletráfico solamente facilita determinados parámetros de La calidad de servicio. Así por ejemplo, en el caso de una cola M/M/C/C+Q podemos obtener el valor del tiempo medio de espera en cola pero no lo percentil es de superar determinado nivel de tiempo esperando.

El análisis de teletráfico tiene la ventaja de resultar simple y rápido (con papel y lápiz o programación muy sencilla), sin embargo solo puede ser utilizado como primera aproximación al sistema. De las herramientas disponibles, el análisis matemático es la que en general ofrece unos resultados mas alejados de la realidad. Sin embargo, además de la ventaja de su sencillez, existe otra mas importante que es la comprensión que proporciona a quien lo realiza sobre el comportamiento del sistema. A quien ha llevado a cabo un análisis de este tipo le es más fácil adaptarlo a cambios, encontrar cuellos de botella, o idear soluciones a nuevos problemas. Sin duda este análisis debe ser el paso previo a cualquier evaluación.



**Figura 4.1** Sistema de atención al cliente mediante PBX y ACD. Las llamadas procedentes de la RTP requiriendo la atención de una extensión tienen que esperar en el caso de que todas estén ocupadas. Normalmente un mensaje o una melodía requieren que el usuario se mantenga a la espera hasta que se libere una posición

## Simulación

La simulación por computador aporta una mayor flexibilidad a la hora de perfilar el modelo y permite incluir muchas circunstancias del caso real que el análisis matemático debe obviar. En este sentido es muy fácil incluir en las simulaciones procesos no Markovianos y que se correspondan con la realidad del sistema.

La simulación es más costosa que el análisis al necesitar programación avanzada, consumo de CPU, etc. Sin embargo facilita mucha más información que el análisis en el sentido de que prácticamente cualquier parámetro de calidad es susceptible de ser evaluado en la simulación

## Maquetas

Un modelo a escala que incluya los mismos bloques que el caso reales lo que resulta mas verídico. Sin embargo, el diseñador debe ser consciente de que no todos los valores son escalables y por tanto las maquetas casi siempre exigen su combinación directa con análisis.

Lo deseable es utilizar las maquetas de manera combinada. La maqueta puede servir para obtener datos que se analizan mediante teletráfico. Los datos de una simulación también pueden servir para comprobar una maqueta.

## Prueba y error

Obviamente siempre es posible poner la red en funcionamiento y ver lo que ocurre. En tal caso, si vemos que faltan recursos podemos añadir, y si sobran quitar. Es impensable el diseño de la red basado únicamente en prueba y error. Montar la red es costosísimo y si luego no resulta viable no se puede desmontar. Cabe pensar en la red real como herramienta de diseño solo para realizar la reingeniería, es decir, adaptar la red a los posibles errores que se han cometido en las fases previas de diseño o incluso a la evolución de algunos de los parámetros utilizados.

**Tabla 4.1 Resumen de las ventajas e inconvenientes de las herramientas de diseño**

	Observaciones	Ventajas	Inconvenientes
Análisis	Teoría de colas	Sencillez y economía	Abstracción
		Ayuda a comprender el funcionamiento	Sólo hay solución para modelos muy simples
Simulación	Simulaciones de Montecarlo mediante computador	Incorporación de modelos complejos	Consumo de CPU y tiempo de programación
		Facilidad para obtener cualquier parámetro	
Maquetas	Modelos a escala	Además del diseño de los recursos se empieza a probar hardware	No todas las magnitudes son escalables
		Los procedimientos de medida son muy similares o iguales al caso real	
Sistema real	Prueba y error sobre el sistema ya funcionando	Es un método seguro y obligado en cualquier red	Debido al coste sólo puede aplicarse cuando hay seguridad sobre el funcionamiento correcto
		Proporciona el más alto nivel de afinación de los parámetros	Sólo debe utilizarse como reingeniería

## Trunking y Calidad de Servicio en Redes Celulares

Los sistemas de la radio celulares confían en el trunking para acomodar un número grande de usuarios en un limitado espectro de la radio.

El concepto de trunking permite a un número grande de usuarios compartir el número relativamente pequeño de canales en una célula proporcionando el acceso a cada usuario, bajo demanda, de un estanque de canales disponibles.

En un sistema de radio de trunked, cada usuario se le asigna un canal uno por la llamada de la base, y en la terminación de la llamada, el canal previamente ocupado se devuelve inmediatamente a las opciones de canales disponibles.

El Trunking se aprovecha de la conducta estadística de usuarios para que un número fijo de canales o circuitos puedan acomodar una comunidad de usuarios de azar grande. La compañía de teléfono usa la teoría trunking para determinar el número de circuitos del teléfono que necesitan ser asignados para los edificios de oficinas con centenares de teléfonos, y este mismo principio se usa al diseñar los sistemas de radio celulares. Hay un compromiso entre el número de circuitos de teléfono disponibles y la probabilidad de un usuario particular que encuentre que ningún circuito está disponible durante el tiempo de mayor tráfico. Como el número de disminuciones de las líneas telefónicas, se vuelve más probable que todos los circuitos estén ocupados para un usuario particular. En un trunking el sistema de la telefonía radio móvil, cuando un usuario particular pide que el servicio y todos los canales de radio ya estén en uso, el usuario queda bloqueado, o se le niega el acceso al sistema. En algunos sistemas, una cola puede usarse para sostener a los usuarios pidiendo hasta que un canal se pone disponible.

Diseñar el trunking de sistemas de transmisión por radio en sistemas que pueden ocuparse de una capacidad específica, "calidad de servicio". Es esencial entender la teoría del trunking y la teoría de hacer cola. Los principios de teoría del trunking fueron desarrollados por Erlang, matemático danés que, en finales del siglo XIX, realizó el estudio de cómo una población grande pudiera acomodarse por un limitado número de servidores. Hoy, la medida de intensidad de tráfico lleva su nombre. Un Erlang representa la cantidad de intensidad de tráfico llevada por un canal que está completamente ocupado (es decir una llamada-hora por hora o una llamada-minuto por minuto). Por ejemplo, un canal de la radio que es el ocupado durante treinta minutos durante una hora lleva 0.5 Erlangs de tráfico.

La calidad de servicio (QOS) es una medida de la habilidad de un usuario de acceder un sistema del trunking durante la hora más ocupada. La hora ocupada está basada en la demanda del cliente dentro de la hora con más tráfico durante una semana, mes, o año. Las horas ocupadas para los sistemas de la radio celulares ocurren típicamente durante horas de la "prisa", entre 4 PM y 6 PM en un jueves o el viernes por la tarde. La calidad de servicio es una referencia, definida por la actuación deseada de un sistema del trunking particularmente especificando por una probabilidad deseada de un usuario para obtener el acceso del canal dado teniendo un número específico de aprovechamiento de los canales disponibles en el sistema. Es el trabajo del diseñador inalámbrico para estimar que el máximo

requerido, la capacidad para asignar el número apropiado de canales para obtener el buscado QOS.

QOS se da típicamente como la probabilidad que una llamada sea bloquea, o la probabilidad de una llamada experimente un retraso mayor que un cierto tiempo de la formación de colas de espera.

#### **Tabla 4.2 Definiciones de Condiciones Comunes Usadas en la Teoría de Trunking**

La estructuración Tiempo (set-up time): El tiempo exigido para asignar un canal de radio de trunking a una petición del usuario.

La Llamada bloqueada (blocked call): Llamada que no puede completarse en momento de demanda, debido a la congestión. También conocido como una llamada perdida.

Tiempo sosteniendo (holding time): La media de duración de una llamada típica. Denotado por  $H$  (en segundos).

La Intensidad de tráfico (traffic intensity): La medida de utilización de tiempo del canal que es la media ocupación del canal medido en Erlangs. Ésta es una cantidad del dimensionamiento y puede usarse para medir la utilización de tiempo de solos o múltiples canales. Denotado por  $A$ .

La carga (load): La intensidad de tráfico por el sistema de radio de trunking entero, dado en Erlangs.

La calidad de Servicio (grade of service(GOS)): Una medida de congestión que se especifica como la probabilidad de tener una llamada bloqueada (para Erlang B), o la probabilidad de tener una llamada más allá de una cierta cantidad de tiempo (para Erlang C).

El índice de demanda (request rate): El promedio del número de demandas de llamadas por unidad de tiempo. Denotado por  $\lambda$  segundos

Se usan varias definiciones listadas en tabla 4.2 en la teoría del trunking para hacer las estimaciones de capacidad en los sistemas del trunking.

La intensidad de tráfico ofrecida por cada usuario es igual a la proporción de demanda de llamada multiplicada por el tiempo de llamada.

Es decir, cada usuario genera una intensidad de tráfico de  $A_u$  Erlangs dada por



$$A_u = \lambda H \quad (4.2.1)$$

donde  $H$  es la media duración de una llamada y  $\lambda$  es el promedio del número de demandas de llamada por unidad de tiempo por cada usuario.

Para un sistema que contiene los usuarios  $U$  y un número no especificado de canales, el total de intensidad de tráfico ofrecido es  $A$ , se da como

$$A = UA_u \quad (4.2.2)$$

Además, en un  $C$  canal del sistema de trunkeo, si el tráfico es igualmente distribuido entre los canales, entonces la intensidad de tráfico por canal  $A_c$ , se da como

$$A_c = UA_u / C \quad (4.2.3)$$

Nota que ese tráfico ofrecido necesariamente no es el tráfico que se lleva por el sistema del trunkeo, sólo el cual es *ofrecido* al sistema de trunkeo. Cuando el tráfico ofrecido excede la capacidad máxima del sistema, el tráfico llevado se limita debido a la capacidad limitada (es decir al límite del número de canales). El máximo tráfico posible llevado es el número total de canales  $C$ , en Erlangs. Los sistemas celulares AMPS que se diseñan para un GOS de 2% de bloqueo. Esto quiere decir que se bloquearan 2 de 100 llamadas debido a la ocupación de los canales durante la hora más ocupadas.

Hay dos tipos de sistemas de trunkeo que normalmente se usan. El primer tipo ofrece ninguna formación de colas de espera para las demandas de la llamada. Es decir, para cada usuario que pide el servicio, al usuario se da el acceso inmediato a un canal si uno está disponible. Si ningún canal está disponible, el usuario se bloquea sin el acceso y es libre probar de nuevo después. Este tipo de trunking se llama llamadas bloqueadas aclaradas y asume que las llamadas llegan como determinado por una distribución de Poisson. Además, es supuesto que hay un número infinito de usuarios también, como lo siguiente:

(a) Hay llegadas de demandas de menor memoria, mientras que implica a todos los usuarios, incluyendo a los usuarios bloqueados, puede pedir un canal cuando quiera; (b) la probabilidad de un usuario que ocupa un canal es exponencialmente distribuido, para que las llamadas más largas probablemente sean ocurridas como descritas por una distribución exponencial; y (c) hay un número finito de canales disponible en las opciones del trunking. Esto es conocido como M/M/m/m (ya mencionado anteriormente) haciendo cola, y encabeza la derivación de Erlang B formula (también conocida la formula como bloqueo y barrado de llamadas). El Erlang B determina la probabilidad que una llamada sea bloqueada y es una medida del GOS para un sistema del trunkeo que no mantiene ninguna formación de colas de espera las llamadas bloqueadas.

La fórmula Erlang B se deriva en el Apéndice A y se da por:

$$\Pr(\text{bloqueo}) = \frac{\binom{A^c}{C!}}{\sum_{k=0}^c \frac{A^k}{k!}} = \text{GoS} \quad (4.2.4)$$

donde  $C$  es el número de canales del trunking ofrecido por un sistema de radio y  $A$  es el total tráfico de ofrecido. Mientras es posible modelar los sistemas del trunking con los usuarios finitos, las expresiones resultantes son mucho más complicadas que el resultado Erlang B, y la complejidad agregada no es garantizada para sistemas del trunking típicos que tienen usuarios que exceden en número los canales disponibles por los órdenes de magnitud.

Además, la fórmula Erlang B proporciona una estimación conservadora del GOS, como los resultados del usuario finitos siempre predicen una probabilidad más pequeña a bloquear. La capacidad de un sistema de radio de trunking donde el bloqueó las llamadas está perdida se clasifica para los varios valores de GOS y números de canales comprendido en las tablas de erlang (apéndice C)

### Modelo para obtener la intensidad de tráfico en un sistema celular

En el siguiente diagrama de flujo es un modelo que he diseñado a para facilitar y obtener la capacidad de tráfico en un sistema celular. Este método sigue la estructura de un diagrama de flujo donde al seguir los conectores que indican las diversas opciones que se pueden presentar ya sea si solo necesitamos saber el QOS o conocer y/o calcular las características del sistema. En la figura 4.2 indica los pasos a seguir para obtener el porcentaje de bloqueo del sistema o también conocido como grado de servicio ( $GoS$ ) así como si ya se cuenta con el número de canales ( $C$ ), como la intensidad de tráfico generada por el usuario ( $A_u$ ) procediendo a buscar dentro de la tablas de Erlang B (apéndice C) para encontrar el factor de bloqueo del tráfico ( $A$ ), al no contar con  $C$  y/o  $A_u$  una de ellas se procede a buscarlas dentro las características del sistema figura 4.3, donde también se puede calcular el área de célula, teniendo esto nos lleva a poder obtener el número de células, y esto a obtener el tráfico máximo por célula, y así sucesivamente número de canales por célula, número de móviles por canal, número de canales por sistema, tráfico total, y número total de usuarios del sistema. También dentro de la figura 4.2 se indica los pasos a seguir para obtener el porcentaje de penetración del sistema en el mercado, esto obteniendo primero el número de usuarios por célula de allí el número de células en el sistema, de esta forma tenemos un total de usuarios del sistema pudiendo calcular el porcentaje de penetración.

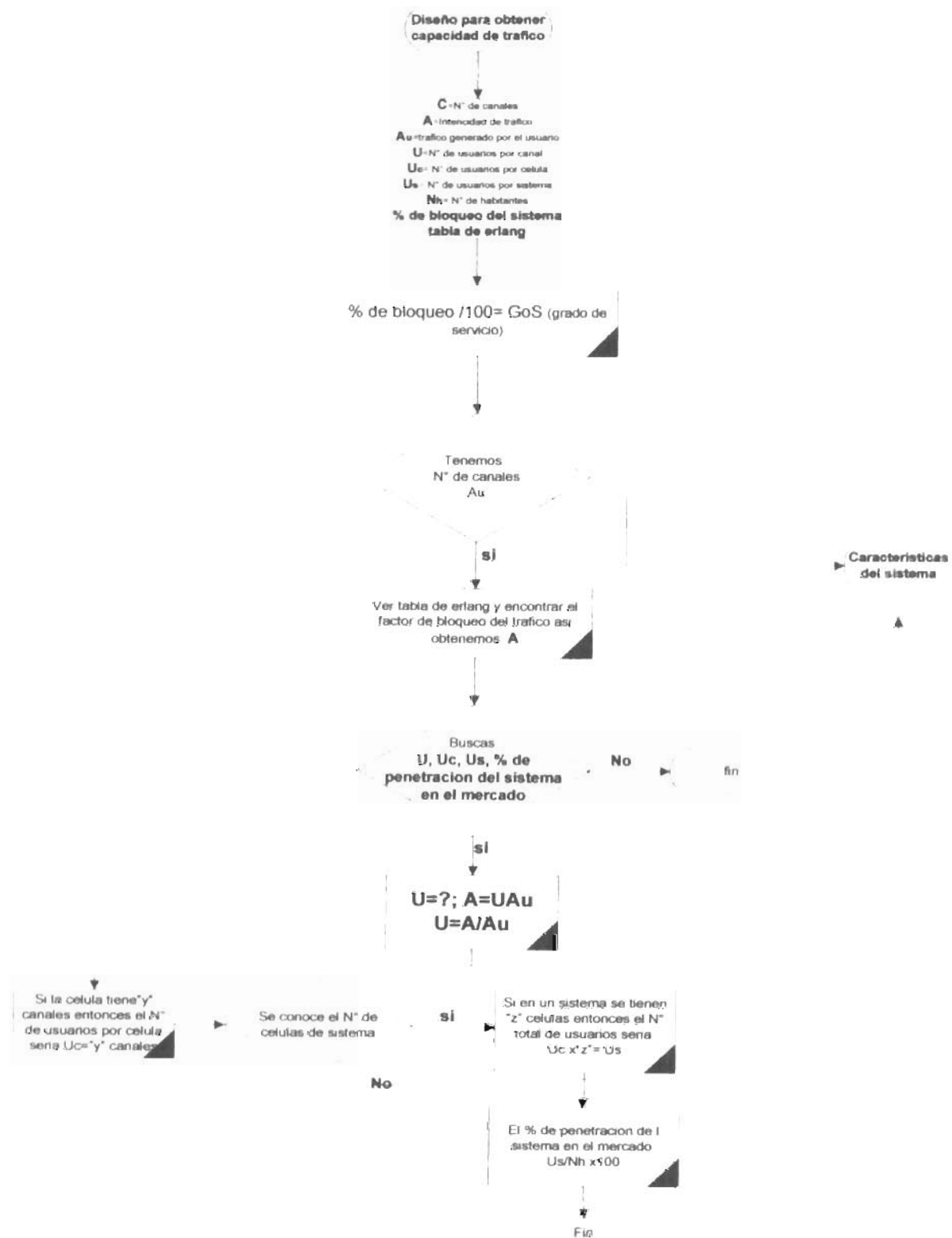


figura 4.2

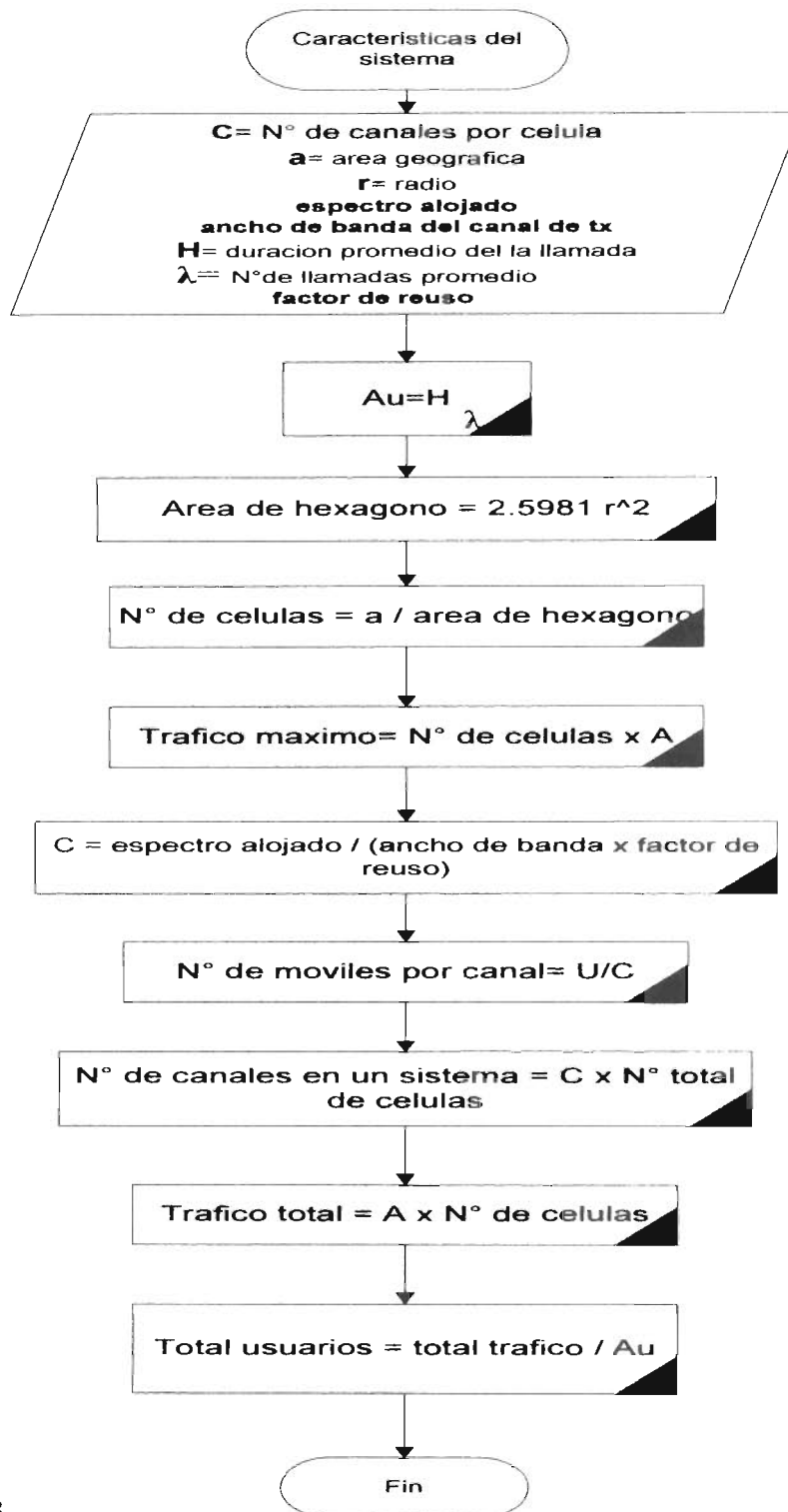


figura 4.3



## Capítulo 5

### Conclusiones

Básicamente el concepto de las comunicaciones inalámbricas se maneja desde hace pocos años, sin embargo el avance de la telefonía celular ha tenido una velocidad impresionante en los últimos años.

Desde que los sistemas eran analógicos y las redes celulares pensadas para pocos usuarios, con equipos de gran tamaño que gastaban grandes cantidades de energía, hasta hoy que contamos con redes celulares diseñadas según el tráfico de la zona haciendo más pequeñas las células para aumentar la capacidad de usuarios, así como su eficiencia y calidad de servicio trayendo consigo las nuevas tecnologías celulares capaces de soportar la transmisión de video en tiempo real, el Internet, así como la transmisión de voz a altas velocidades y con ello mejorando el handoff.

Todo esto se debe a una constante innovación dentro de las técnicas de acceso y de las tecnologías que permiten un mejor aprovechamiento del espacio radioeléctrico. Cada técnica de acceso como sus sistemas han sido las que marcan las diferencias entre generaciones, siendo más notorio el gran paso que tuvo de la primera generación a la segunda generación dejando a un lado los sistemas analógicos para comenzar la era de la telefonía celular digital.

Todos estos adelantos se dieron gracias al creciente mercado, llevando esto a las compañías a invertir más dinero, desarrollando nuevos sistemas capaces de satisfacer a los cada vez más exigentes usuarios, ya que al invertir más, consiguen estimular a los ingenieros dedicados a las comunicaciones en como obtener mejores sistemas de alta calidad con innovaciones constantes.

Dentro del mejoramiento del sistema se encuentra como obtener una comunicación de calidad sin que haya interrupciones dentro de las mismas, como el obtener siempre que requiera el usuario una comunicación ya sea con otro sistema, o con la telefonía fija con un bajo coeficiente de bloqueo, siendo eso el grado de servicio ofrecido.

Esto nos lleva a interesarnos en el aspecto de como calcular el bloqueo de tráfico como obtener un mejor sistema con el aprovechamiento amplio de los canales. Ya que hay diversas formas y métodos de obtener y diseñar una red celular nosotros nos inclinamos en el método de análisis matemático. Este método de análisis me hizo comprender como obtener y el como el entender el diseño ya sea con todas sus características desde el cálculo del número de usuarios, el número de canales, el tráfico capaz de soportar la célula, así como el sistema y el porcentaje de bloqueo del tráfico en el sistema.

Así es como desarrolle un sistema de diagramas de flujo el cual nos permite obtener el porcentaje de bloqueo del tráfico del sistema, así como sus características principales del sistema de una forma secuencial. Dentro de estas características del sistema se encuentran la forma de obtener el área geográfica de las células, tráfico máximo en el sistema, canales de la célula, así como el número de móviles soportados por canal, el número total de canales en un sistema, el tráfico total, teniendo de esta forma el número total de usuarios.

Dándonos una perspectiva de cómo obtener los principales requerimientos para un sistema, ya que los cálculos de estos tratan de dar una idea al diseñador de sistemas de telefonía celular las características necesarias para tener un nivel óptimo del sistema, de esta forma el diseñador tratará de aplicarlo ya físicamente a las células del sistema.

Siendo así una herramienta que ayuda a la ingeniería en comunicaciones.

## APENDICE A

### ERLANG B

El Erlang la fórmula de B determina la probabilidad que una llamada se bloquee, y es una medida del GOS para un sistema del trunkeo que no mantiene ninguna formación de colas para llamadas bloqueadas (un sistema de LCC). El Erlang modelo de B es basado en lo siguientes:

- \* Implica que todos los usuarios, incluyendo a los usuarios bloqueados, pueden pedir un canal cuando quiera.

- \* Todos los canales libres están totalmente disponibles para las llamadas hasta todos los canales esten ocupados.

- \* La probabilidad de un usuario que ocupa un canal (llamado el tiempo de servicio) es exponencialmente distribuido. Las llamadas más largas probablemente son descritas por una distribución exponencial.

- \* Hay un número finito de canales disponible en las opciones del trunkeo.

- \* Las demandas de tráfico son descritas por una distribución de Poisson que implica exponencialmente distribución de los tiempos de llegada de las llamadas

- \* Los tiempos de Interlegadas de petición de las llamadas son independientes de otras

- \* El número de canales ocupados es igual al número de usuarios ocupados, y la probabilidad de bloquear se da como

$$Pr[\text{Bloqueo}] = \frac{\binom{A^c}{C!}}{\sum_{k=0}^c \frac{A^k}{k!}} \quad (\text{A.1})$$

donde C es el numero de canales de trunkeo, y A es el total de carga dada a la carga del sistema.

#### A.1.1 Derivacion de Erlang B

Considerando un sistema con C canales y U usuarios. Será  $\lambda$  el total de llamadas entrantes por unidad de tiempo para un sistema entero de trunkeo (promediando el numero de petición de llamadas por unidad de tiempo sobre todos los canales y todos los usuarios), y H sera el promedio de duración de la llamada. Si A es dada como la carga del sistema entonces  $A = \lambda H$

La probabilidad de que una petición de llamada sea bloqueada es dada por:

$$Pr[\text{bloqueo}] = Pr[\text{ninguno de los C canales este disponible}]$$

Esto es asumiendo que las llamadas entrantes de acuerdo a la distribución de Poisson de tal forma que:



$$Pr = \{a(t + \tau) - a(t) = n\} = \frac{e^{-\lambda\tau} (\lambda\tau)^n}{n!} \quad \text{para } n = 0, 1, 2, \dots$$

Donde  $a(t)$  es el numero de petición de llamadas (llegantes) esto ocurre desde  $t = 0$  y  $T$  es el tiempo entre la petición sucesiva de llamadas. El termino  $\lambda$  denota el numero promedio entre el numero de petición de llamadas por unidad de tiempo por encima de la población de usuarios, y es llamada *índice de llegada*.

El proceso de Poisson implica ese tiempo de  $n$  llegadas de llamadas y tiempos de inter llegadas entre petición de llamadas son exponenciales y mutuamente independientes, y probablemente ese intervalo de tiempo sera menor que otro tiempo  $s$  es dado por

$Pr(\tau_n \leq s) = 1 - e^{-\lambda s}$ ,  $s \geq 0$  donde  $\tau_n$  es tiempo de inter llegadas de  $n$  llegadas y  $\tau_n = t_{n+1} - t_n$ , donde  $t_n$  es el tiempo el cual  $n$  llamadas de petición llegadas. En otras palabras, la densidad de probabilidad funcion para  $t_n$  es

$$P(t_n) = \lambda e^{-\lambda t_n}, \quad t_n \geq 0 \quad (\text{A.4})$$

Para cualquier  $t \geq 0$ ,  $\delta \geq 0$ ,

$$Pr\{a(t + \delta) - a(t) = 0\} = 1 - \lambda\delta + o(\delta) \quad (\text{A.5})$$

$$Pr\{a(t + \delta) - a(t) = 1\} = \lambda\delta + o(\delta) \quad (\text{A.6})$$

$$Pr\{a(t + \delta) - a(t) \geq 2\} = o(\delta) \quad (\text{A.7})$$

Donde  $o(\delta)$  es la probabilidad de que mas de una llamada de petición este llegando sobre el tiempo de intervalo  $\delta$  y la función de  $\delta$  seria  $\lim_{\delta \rightarrow 0} \left\{ \frac{o(\delta)}{\delta} \right\} = 0$ .

La probabilidad de  $n$  llegadas en  $\delta$  segundos es encontrado por la ecuación (A.3)

$$Pr = \{a(t + \delta) - a(t) = n\} = \frac{e^{-\lambda\delta} (\lambda\delta)^n}{n!} \quad (\text{A.8})$$

El tiempo de servicio de usuario es la duración de una llamada particular esto tiene acceso satisfactorio al sistema de trunking y siendo alojado un canal para la llamada. Los tiempos de servicio son tomados para ser exponencial lo cual se significa duración de la llamada  $H$ , donde  $\mu = 1 / H$  esto significa índice de servicio (numero promedio de servicios por unidad de tiempo).  $H$  seria el promedio de duracion de llamada. La probabilidad de tiempo de servicio de  $n$  llamadas en servicio pueden ser menores que alguna duración de llamada  $s$  es dada por

$$\Pr \{s_n < s\} = 1 - e^{-\mu s} \quad s > 0 \quad (\text{A.9})$$

Y la función de probabilidad de densidad de tiempo de servicio

$$p(s_n) = \mu e^{-\mu s} \quad s > 0 \quad (\text{A.10})$$

donde  $s_n$  es el tiempo de servicio de  $n$  llamadas.

Este sistema de trukeo (representado por la formula Erlang B ) es llamado *M/M/C/C* sistema de haciendo colas. La primera M es usada para las llamadas entrantes, la segunda M es un servicio de tiempo exponencial para el usuario, la primera C es el número de canales disponibles, y la última C indica el número de usuarios simultáneos que pueden tener servicio.

La cadena Markov puede ser usada para poder derivar la formula de Erlang B, el proceso para que sea una cadena de Markov dice que si la transición del estado presente  $i$  el próximo estado será  $i + 1$  esto depende únicamente de lo observado con una inspección discreta para específicos puntos de condiciones de trafico. La operación practica para sistemas de trukeo es continuo en tiempo, pero talvez será analizado en intervalos de tiempo pequeños  $\delta$ , donde  $\delta$  es un pequeño numero positivo. Si  $N_k$  es el número de llamadas (canales ocupados) en el sistema en tiempo  $k\delta$ , entonces  $N_k$  será representado como

$$N_k = N(k\delta) \quad (\text{A.11})$$

donde  $N$  es un proceso discreto aleatorio representando los canales ocupados en tiempos discretos.  $N_k$  es un tiempo discreto de cadena Markov con firmes estados de probabilidad de ocupación cuales son idénticos a la continua cadena Markov, y puede tener valores dentro de los rangos de  $0, 1, 2, \dots, C$ .

la probabilidad de cambio  $P_{i,j}$  describe la probabilidad de ocupación del canal sobre la observación de pequeños intervalos, y es dada por

$$P_{i,j} = \Pr \{N_{k+1} = j \mid N_k = i\} \quad (\text{A.12})$$

Usando las ecuaciones (A.5) a través de (A.7), y dejando  $\delta \rightarrow 0$ , obtenemos

$$P_{00} = 1 - \lambda\delta + o(\delta) \quad (\text{A.13})$$

$$P_{ii} = 1 - \lambda\delta - \mu\delta + o(\delta) \quad i \geq 1 \quad (\text{A.14})$$

$$P_{i,i+1} = \lambda\delta + o(\delta) \quad i \geq 0 \quad (\text{A.15})$$

$$P_{i,i-1} = \lambda\delta + o(\delta) \quad i \geq 1 \quad (\text{A.16})$$

$$P_{i,j} = o(\delta) \quad j \neq i, j \neq i+1, j \neq i-1 \quad (\text{A.17})$$

la transición de estado de la cadena Markov se muestra en la siguiente figura

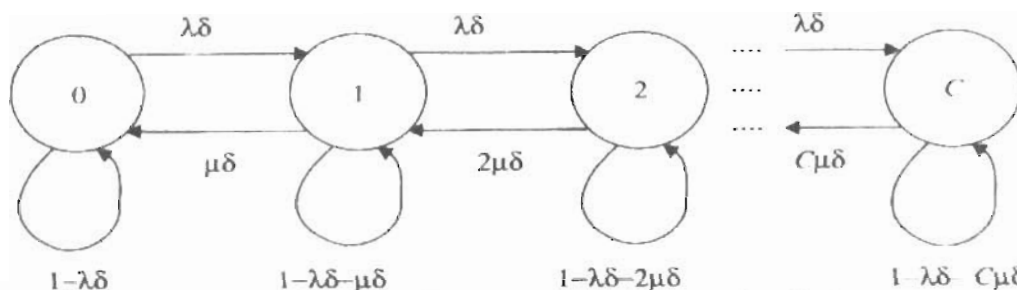


figura A.1 las probabilidades de transición representadas en una cadena Markov diagrama de estado para Erlang B

Esta figura de la representación de cadena Markov de un sistema de trunkeo con C canales. Para entender el diagrama de estado, asumir que hay 0 canales que están siendo usados por el sistema. Sobre un pequeño intervalo de tiempo, la probabilidad de que el sistema siga usando 0 canales es (1-). La probabilidad de que el cambio sea de 0 canales a un canal en uso es dada por  $\lambda\delta$ . Por otro lado, si uno de los canales esta en uso la probabilidad de que ese sistema será cambiado a 0 canales usados es dada por  $\mu\delta$ . Similarmente, la probabilidad de que el sistema continuara usando un canal es dada por  $1-\lambda\delta-\mu\delta$ . Todas las probabilidades de un estado seguro suman un 1.

Sobre un periodo largo de tiempo, el sistema localiza un estado seguro y teniendo n canales en uso.

La figura A.2 representa la respuesta del estado seguro de un sistema LCC (llamada pérdida borrada).

En un estado seguro, la probabilidad de tener n canales en uso es equivalente a la probabilidad de tener (n-1) canales en uso, el tiempo de probabilidad de transición es  $\lambda\delta$ .

Bajo condiciones de estado estables

$$\lambda\delta P_{n-1} = n\mu\delta P_n, \quad n \leq C \quad (\text{A.18})$$

La ecuación (A.18) es conocida como la *Ecuación de Balance Global*. Además,

$$\sum_{n=0}^C P_n = 0 \quad (\text{A.19})$$

Usando la *Ecuación de Balance Global* para diferentes valores de  $n$ , es visto como

$$\lambda \delta P_{n-1} = P_n n \mu \delta, \quad n = 1, 2, 3, \dots, C \quad (\text{A.20})$$

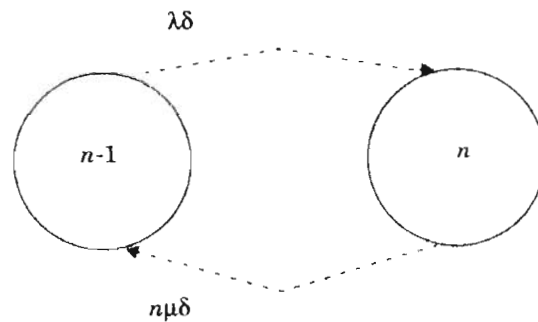


figura A.2 un sistema LCC de estado seguro con  $n$  numero de canales en uso

$$\lambda P_{n-1} = P_n n \mu \quad (\text{A.21})$$

$$P_1 = \frac{\lambda P_0}{\mu} \quad (\text{A.22})$$

Evaluando la ecuación (A.20) para diferentes valores de  $n$

$$P_n = P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} \quad (\text{A.23})$$

y

$$P_0 = \left( \frac{\mu}{\lambda} \right)^n P_n n! = 1 - \sum_{i=0}^C P_i \quad (\text{A.24})$$

sustituyendo (A.23) en ecuación (A.24)

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^C \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{1}{n!}} \quad (\text{A.25})$$

de la ecuación (A.23) la probabilidad de bloqueo por C canales de tronqueo es

$$P_c = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{C!} \quad (\text{A.26})$$

sustituyendo la ecuación (A.25) en la ecuación (A.26),

$$P_c = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{C!}}{\sum_{n=0}^C \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{1}{n!}} \quad (\text{A.27})$$

El tráfico total ofrecido es  $A = \lambda H = \lambda / \mu$ . Sustituyendo esta ecuación (A.27), la probabilidad de bloqueo es dada por

$$P_c = \frac{A^C \frac{1}{C!}}{\sum_{n=0}^C A^n \frac{1}{n!}} \quad (\text{A.28})$$

La ecuación (A.28) es la fórmula Erlang B

## Apéndice B

Ciudad	(1) Cobertura de Prueba (km <sup>2</sup> )	Primera Medición				(3) %Llamadas Caídas (Estándar Cofetel 6%)	(4) %Intentos de Llamadas No Completadas (Estándar Cofetel 5%)
		Operador Móvil	Fecha de Evaluación	(2) de Cobertura Garantizada (km <sup>2</sup> )			
Hermosillo	95	<u>Movitel</u>	Del 7 al	1195	1.1	2.5	
		<u>Telcel</u>	de Mayo	95	0.4	2	
Toluca	188	<u>Iusacell</u>		180	0.3	2.3	
		<u>Pegaso</u>	del 7 al	11178	2.2	11.9	
		<u>Telcel</u>	de Mayo	184	1.2	2.8	
		<u>Unefon</u>		177	0.3	2	
Chihuahua	130	<u>Norcel</u>	Del 21 al	130	1.5	2.8	
		<u>Telcel</u>	25 de mayo	120	0.2	0.9	
Guadalajara	450	<u>Iusacell</u>		395	0.6	2.9	
		<u>Pegaso</u>	Del 21 al	440	0.9	9.9	
		<u>Telcel</u>	25 de mayo	450	1.1	4.9	
		<u>Unefon</u>		384	0.6	2.5	
León	150	<u>Iusacell</u>	Del 4 al	890	0.3	2.3	
		<u>Telcel</u>	de junio	146	0.4	1.5	
		<u>Unefon</u>		118	0.1	4.3	
Ensenada	60	<u>Bajacel</u>	Del 4 al	860	1.1	2.5	
		<u>Pegaso</u>	de junio	60	1.9	5.9	
		<u>Telcel</u>		60	0.3	0.8	
Puebla	395	<u>Iusacell</u>	Del 18 al	180	0.3	1.9	
		<u>Telcel</u>	22 de junio	255	2.2	5.1	
		<u>Unefon</u>		253	0.2	2.7	
Nuevo Laredo	112	<u>Cedetel</u>	Del 18 al	112	0.7	2.7	
		<u>Pegaso</u>	22 de junio	112	0.2	2.5	
		<u>Telcel</u>		91	0.6	2.8	
México	930	<u>Iusacell</u>		535	0.5	2.2	

		<u>Pegaso</u>	Del 2 al 6 770	1.2	6.0
		<u>Telcel</u>	de julio 863	1.7	5.1
		<u>Unefon</u>	719	1.2	3.5
Mérida	184	<u>Portatel</u>	Del 2 al 6 165	3.2	14.9
		<u>Telcel</u>	de julio 175	0.4	1.6
Culiacán	114	<u>Movitel</u>	Del 16 al 114	1.3	2.9
		<u>Telcel</u>	20 de julio 111	0.2	1.5
		<u>Iusacell</u>	62	0.4	2.1
Morelia	100	<u>Telcel</u>	Del 16 al 83	0.4	2.0
		<u>Unefon</u>	20 de julio 67	0.2	1.4
Ciudad Juárez	292	<u>Norcel</u>	Del 30 de 229	0.8	2.6
		<u>Telcel</u>	julio al 3 de 234	0.6	1.4
		<u>Iusacell</u>	Del 30 de 38	0.2	0.4
Acapulco	135	<u>Telcel</u>	julio al 3 de 77	0.3	1.4
		<u>Unefon</u>	agosto 102	0.3	2.0
		<u>Bajacel</u>	Del 6 al 10 230	0.9	1.5
Tijuana	230	<u>Pegaso</u>	de agosto 199	0.5	0.6
		<u>Telcel</u>	216	0.2	1.5
		<u>Iusacell</u>	Del 6 al 10 56	0.3	1.9
Querétaro	100	<u>Telcel</u>	de agosto 76	0.3	0.9
		<u>Unefon</u>	76	0.2	0.5

(1) **Cobertura de Prueba (km<sup>2</sup>)**. Área geográfica máxima de evaluación establecida por la Cofetel.

(2) **Cobertura Garantizada (km<sup>2</sup>)**. Área de cobertura de servicio garantizada por el operador móvil evaluado dentro de la Cobertura de Prueba. Cabe destacar que ciertos operadores ofrecen servicios más allá de la Cobertura de Prueba.

(3) **% Llamadas Caídas**. Porcentaje de llamadas que una vez establecidas tuvieron la imposibilidad de continuar con la comunicación.

(4) **% Intentos de Llamadas No Completadas**. Porcentaje de intentos de llamadas en los cuales, habiéndose realizado adecuadamente el proceso de marcación respectivo, no se logra establecer la comunicación con el destino final en un tiempo menor a 12 segundos.

# Apendice C

## TABLAS Tablas de los valores de Erlang :B

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38132	.59543	1.00000	2.00000	2
3	.39664	.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	2.4137	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	12.046	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	7.1155	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	19.265	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	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	n



n	Probabilidad de pérdida (F)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
51	37.754	38.134	38.480	38.800	41.189	42.892	45.533	50.644	59.746	82.652	51
52	38.639	39.024	39.376	39.700	42.124	43.852	46.534	51.726	60.985	84.317	52
53	39.526	39.916	40.273	40.602	43.060	44.813	47.534	52.808	62.224	85.981	53
54	40.414	40.810	41.171	41.505	43.997	45.776	48.536	53.891	63.463	87.645	54
55	41.303	41.705	42.071	42.409	44.936	46.739	49.539	54.975	64.702	89.310	55
56	42.194	42.601	42.972	43.315	45.875	47.703	50.543	56.059	65.942	90.974	56
57	43.087	43.499	43.875	44.222	46.816	48.669	51.548	57.144	67.181	92.639	57
58	43.980	44.398	44.778	45.130	47.758	49.635	52.553	58.229	68.421	94.303	58
59	44.875	45.298	45.683	46.039	48.700	50.602	53.559	59.315	69.662	95.968	59
60	45.771	46.199	46.589	46.950	49.644	51.570	54.566	60.401	70.902	97.633	60
61	46.669	47.102	47.497	47.861	50.589	52.539	55.573	61.488	72.143	99.297	61
62	47.567	48.005	48.405	48.774	51.534	53.508	56.581	62.575	73.384	100.962	62
63	48.467	48.910	49.314	49.688	52.481	54.478	57.590	63.663	74.625	102.626	63
64	49.368	49.816	50.225	50.603	53.428	55.430	58.599	64.750	75.866	104.290	64
65	50.270	50.723	51.137	51.518	54.376	56.421	59.609	65.839	77.108	105.954	65
66	51.173	51.631	52.049	52.435	55.325	57.394	60.619	66.927	78.350	107.618	66
67	52.077	52.540	52.963	53.353	56.275	58.367	61.630	68.016	79.592	109.282	67
68	52.982	53.450	53.877	54.272	57.226	59.411	62.642	69.106	80.834	110.946	68
69	53.888	54.361	54.793	55.191	58.177	60.316	63.654	70.196	82.076	112.610	69
70	54.795	55.273	55.709	56.112	59.129	61.291	64.667	71.286	83.318	114.274	70
71	55.703	56.186	56.626	57.033	60.082	62.267	65.680	72.376	84.561	115.938	71
72	56.612	57.099	57.545	57.956	61.036	63.244	66.694	73.467	85.803	117.602	72
73	57.522	58.014	58.464	58.879	61.990	64.221	67.708	74.558	87.046	119.266	73
74	58.432	58.930	59.384	59.803	62.945	65.199	68.723	75.649	88.289	120.930	74
75	59.344	59.846	60.304	60.728	63.900	66.177	69.738	76.741	89.532	122.594	75
76	60.256	60.763	61.226	61.653	64.857	67.156	70.753	77.833	90.776	124.258	76
77	61.169	61.681	62.148	62.579	65.814	68.136	71.769	78.925	92.019	125.922	77
78	62.083	62.600	63.071	63.506	66.771	69.116	72.786	80.018	93.262	127.586	78
79	62.998	63.519	63.995	64.434	67.729	70.096	73.803	81.110	94.506	129.250	79
80	63.914	64.439	64.919	65.363	68.688	71.077	74.820	82.203	95.750	130.914	80
81	64.830	65.360	65.845	66.292	69.647	72.059	75.838	83.297	96.993	132.578	81
82	65.747	66.282	66.771	67.222	70.607	73.041	76.856	84.390	98.237	134.242	82
83	66.665	67.204	67.697	68.152	71.568	74.024	77.874	85.484	99.481	135.906	83
84	67.583	68.128	68.625	69.084	72.529	75.007	78.893	86.578	100.724	137.570	84
85	68.503	69.051	69.553	70.016	73.490	75.990	79.912	87.672	101.967	139.234	85
86	69.423	69.976	70.481	70.948	74.452	76.974	80.932	88.767	103.210	140.898	86
87	70.343	70.901	71.410	71.881	75.415	77.959	81.952	89.861	104.453	142.562	87
88	71.264	71.827	72.340	72.815	76.378	78.944	82.972	90.956	105.696	144.226	88
89	72.186	72.753	73.271	73.749	77.342	79.929	83.993	92.051	106.939	145.890	89
90	73.109	73.680	74.202	74.684	78.306	80.915	85.014	93.146	108.182	147.554	90
91	74.032	74.608	75.134	75.620	79.271	81.901	86.035	94.242	109.425	149.218	91
92	74.956	75.536	76.066	76.556	80.236	82.888	87.057	95.338	110.668	150.882	92
93	75.880	76.465	76.999	77.493	81.201	83.875	88.079	96.434	111.911	152.546	93
94	76.805	77.394	77.932	78.430	82.167	84.862	89.101	97.530	113.154	154.210	94
95	77.731	78.324	78.866	79.368	83.134	85.850	90.123	98.626	114.397	155.874	95
96	78.657	79.255	79.801	80.306	84.100	86.838	91.146	99.722	115.640	157.538	96
97	79.584	80.186	80.736	81.245	85.068	87.826	92.169	100.82	116.883	159.202	97
98	80.511	81.117	81.672	82.184	86.035	88.815	93.193	101.92	118.126	160.866	98
99	81.439	82.050	82.608	83.124	87.003	89.804	94.216	103.01	119.369	162.530	99
100	82.367	82.982	83.545	84.064	87.972	90.794	95.240	104.11	120.612	164.194	100
101	83.296	83.916	84.482	85.005	88.941	91.784	96.265	105.21	121.855	165.858	101
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
n	Probabilidad de pérdida (F)										n

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
101	83.296	83.916	84.482	85.005	88.941	91.784	96.265	105.21	121.89	165.92	101
102	84.225	84.849	85.419	85.946	89.910	92.774	97.289	106.30	123.13	167.58	102
103	85.155	85.783	86.357	86.888	90.880	93.765	98.314	107.40	124.38	169.25	103
104	86.086	86.718	87.296	87.830	91.850	94.756	99.339	108.50	125.63	170.91	104
105	87.017	87.653	88.235	88.773	92.821	95.747	100.36	109.60	126.87	172.58	105
106	87.948	88.589	89.175	89.716	93.791	96.738	101.39	110.70	128.12	174.25	106
107	88.880	89.525	90.115	90.660	94.763	97.730	102.42	111.79	129.36	175.91	107
108	89.812	90.462	91.055	91.604	95.734	98.722	103.44	112.89	130.61	177.58	108
109	90.745	91.399	91.996	92.548	96.706	99.715	104.47	113.99	131.86	179.24	109
110	91.678	92.336	92.937	93.493	97.678	100.71	105.49	115.09	133.10	180.91	110
111	92.612	93.274	93.879	94.438	98.651	101.70	106.52	116.19	134.35	182.58	111
112	93.546	94.212	94.821	95.384	99.624	102.69	107.55	117.29	135.59	184.24	112
113	94.481	95.151	95.764	96.330	100.60	103.69	108.57	118.39	136.84	185.91	113
114	95.416	96.090	96.707	97.277	101.57	104.68	109.60	119.49	138.09	187.57	114
115	96.352	97.030	97.650	98.223	102.54	105.68	110.63	120.58	139.33	189.24	115
116	97.287	97.970	98.594	99.171	103.52	106.67	111.66	121.68	140.58	190.91	116
117	98.224	98.910	99.538	100.12	104.49	107.66	112.69	122.78	141.83	192.57	117
118	99.160	99.851	100.48	101.07	105.47	108.66	113.71	123.88	143.07	194.24	118
119	100.10	100.79	101.43	102.01	106.44	109.66	114.74	124.98	144.32	195.91	119
120	101.04	101.73	102.37	102.96	107.42	110.65	115.77	126.08	145.57	197.57	120
121	101.97	102.68	103.32	103.91	108.39	111.65	116.80	127.18	146.81	199.24	121
122	102.91	103.62	104.26	104.86	109.37	112.64	117.83	128.28	148.06	200.90	122
123	103.85	104.56	105.21	105.81	110.35	113.64	118.86	129.38	149.31	202.57	123
124	104.79	105.50	106.16	106.76	111.32	114.64	119.89	130.48	150.55	204.24	124
125	105.73	106.45	107.10	107.71	112.30	115.63	120.92	131.58	151.80	205.90	125
126	106.67	107.39	108.05	108.66	113.28	116.63	121.95	132.68	153.05	207.57	126
127	107.61	108.34	109.00	109.61	114.25	117.63	122.98	133.78	154.29	209.24	127
128	108.55	109.28	109.95	110.57	115.23	118.62	124.01	134.88	155.54	210.90	128
129	109.49	110.22	110.90	111.52	116.21	119.62	125.04	135.99	156.79	212.57	129
130	110.43	111.17	111.85	112.47	117.19	120.62	126.07	137.09	158.03	214.24	130
131	111.37	112.12	112.79	113.42	118.17	121.62	127.10	138.19	159.28	215.90	131
132	112.31	113.06	113.74	114.38	119.15	122.62	128.13	139.29	160.53	217.57	132
133	113.26	114.01	114.69	115.33	120.12	123.61	129.16	140.39	161.77	219.24	133
134	114.20	114.95	115.64	116.28	121.10	124.61	130.19	141.49	163.02	220.90	134
135	115.14	115.90	116.59	117.24	122.08	125.61	131.22	142.59	164.27	222.56	135
136	116.09	116.85	117.54	118.19	123.06	126.61	132.25	143.69	165.52	224.23	136
137	117.03	117.80	118.50	119.14	124.04	127.61	133.28	144.80	166.76	225.90	137
138	117.97	118.74	119.45	120.10	125.02	128.61	134.32	145.98	168.01	227.56	138
139	118.92	119.69	120.40	121.05	126.00	129.61	135.35	147.00	169.26	229.23	139
140	119.86	120.64	121.35	122.01	126.98	130.61	136.38	148.10	170.50	230.90	140
141	120.81	121.59	122.30	122.96	127.97	131.61	137.41	149.20	171.75	232.56	141
142	121.75	122.54	123.26	123.92	128.95	132.61	138.44	150.30	173.00	234.23	142
143	122.70	123.49	124.21	124.88	129.93	133.61	139.48	151.41	174.25	235.89	143
144	123.64	124.44	125.16	125.83	130.91	134.61	140.51	152.51	175.49	237.56	144
145	124.59	125.39	126.11	126.79	131.89	135.63	141.54	153.61	176.74	239.23	145
146	125.54	126.34	127.07	127.75	132.87	136.61	142.57	154.71	177.99	240.89	146
147	126.48	127.29	128.02	128.70	133.86	137.61	143.61	155.82	179.24	242.56	147
148	127.43	128.24	128.98	129.66	134.84	138.61	144.64	156.92	180.48	244.23	148
149	128.38	129.19	129.93	130.62	135.83	139.62	145.67	158.02	181.73	245.89	149
150	129.32	130.14	130.88	131.58	136.80	140.62	146.71	159.12	182.98	247.56	150
151	130.27	131.09	131.84	132.53	137.79	141.62	147.74	160.23	184.23	249.22	151
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
n	Probabilidad de pérdida (E)										n

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
151	130.27	131.09	131.84	132.53	137.79	141.62	147.74	160.23	184.23	249.22	151
152	131.22	132.04	132.79	133.49	138.77	142.62	148.77	161.33	185.47	250.89	152
153	132.17	132.99	133.75	134.45	139.75	143.62	149.81	162.43	186.72	252.56	153
154	133.12	133.95	134.71	135.41	140.74	144.63	150.84	163.53	187.97	254.22	154
155	134.06	134.90	135.66	136.37	141.72	145.63	151.87	164.64	189.22	255.89	155
156	135.01	135.85	136.62	137.33	142.70	146.63	152.91	165.74	190.47	257.56	156
157	135.96	136.80	137.57	138.29	143.69	147.63	153.94	166.84	191.71	259.22	157
158	136.91	137.76	138.53	139.25	144.67	148.64	154.98	167.95	192.96	260.89	158
159	137.86	138.71	139.49	140.21	145.66	149.64	156.01	169.05	194.21	262.56	159
160	138.81	139.66	140.44	141.17	146.64	150.64	157.05	170.15	195.46	264.22	160
161	139.76	140.62	141.40	142.13	147.63	151.65	158.08	171.25	196.70	265.89	161
162	140.71	141.57	142.36	143.09	148.61	152.65	159.12	172.36	197.95	267.55	162
163	141.66	142.53	143.32	144.05	149.60	153.66	160.15	173.46	199.20	269.22	163
164	142.61	143.48	144.28	145.01	150.58	154.66	161.19	174.56	200.45	270.89	164
165	143.57	144.44	145.23	145.97	151.57	155.66	162.22	175.67	201.70	272.55	165
166	144.52	145.39	146.19	146.93	152.55	156.67	163.26	176.77	202.94	274.22	166
167	145.47	146.35	147.15	147.89	153.54	157.67	164.29	177.88	204.19	275.89	167
168	146.42	147.30	148.11	148.86	154.53	158.68	165.33	178.98	205.44	277.55	168
169	147.37	148.26	149.07	149.82	155.51	159.68	166.36	180.08	206.69	279.22	169
170	148.32	149.21	150.03	150.78	156.50	160.69	167.40	181.19	207.94	280.88	170
171	149.28	150.17	150.99	151.74	157.48	161.69	168.43	182.29	209.18	282.55	171
172	150.23	151.13	151.95	152.71	158.47	162.70	169.47	183.39	210.43	284.22	172
173	151.18	152.08	152.91	153.67	159.46	163.70	170.50	184.50	211.68	285.88	173
174	152.14	153.04	153.87	154.63	160.44	164.71	171.54	185.60	212.93	287.55	174
175	153.09	154.00	154.83	155.60	161.43	165.71	172.58	186.71	214.18	289.22	175
176	154.04	154.95	155.79	156.56	162.42	166.72	173.61	187.81	215.42	290.88	176
177	155.00	155.91	156.75	157.52	163.41	167.72	174.65	188.91	216.67	292.55	177
178	155.95	156.87	157.71	158.49	164.39	168.73	175.69	190.02	217.92	294.22	178
179	156.91	157.83	158.67	159.45	165.38	169.73	176.72	191.12	219.17	295.88	179
180	157.86	158.78	159.63	160.42	166.37	170.74	177.76	192.23	220.42	297.55	180
181	158.81	159.74	160.59	161.38	167.36	171.75	178.79	193.33	221.66	299.22	181
182	159.77	160.70	161.55	162.34	168.35	172.75	179.83	194.44	222.91	300.88	182
183	160.72	161.66	162.52	163.31	169.33	173.76	180.87	195.54	224.16	302.55	183
184	161.68	162.62	163.48	164.27	170.32	174.77	181.91	196.65	225.41	304.21	184
185	162.64	163.58	164.44	165.24	171.31	175.77	182.94	197.75	226.66	305.88	185
186	163.59	164.54	165.40	166.21	172.30	176.78	183.98	198.85	227.91	307.55	186
187	164.55	165.50	166.37	167.17	173.29	177.79	185.02	199.96	229.15	309.21	187
188	165.50	166.46	167.33	168.14	174.28	178.79	186.05	201.06	230.40	310.88	188
189	166.46	167.42	168.29	169.10	175.27	179.80	187.09	202.17	231.65	312.55	189
190	167.42	168.37	169.25	170.07	176.26	180.81	188.13	203.27	232.90	314.21	190
191	168.37	169.34	170.22	171.03	177.25	181.81	189.17	204.38	234.15	315.88	191
192	169.33	170.30	171.18	172.00	178.24	182.82	190.20	205.48	235.40	317.55	192
193	170.29	171.26	172.14	172.97	179.23	183.83	191.24	206.59	236.64	319.21	193
194	171.24	172.22	173.11	173.93	180.22	184.84	192.28	207.69	237.89	320.88	194
195	172.20	173.18	174.07	174.90	181.21	185.85	193.32	208.80	239.14	322.55	195
196	173.16	174.14	175.04	175.87	182.20	186.85	194.35	209.90	240.39	324.21	196
197	174.12	175.10	176.00	176.84	183.19	187.86	195.39	211.01	241.64	325.88	197
198	175.07	176.06	176.96	177.80	184.18	188.87	196.43	212.11	242.89	327.54	198
199	176.03	177.02	177.93	178.77	185.17	189.88	197.47	213.22	244.13	329.21	199
200	176.99	177.98	178.89	179.74	186.16	190.89	198.51	214.32	245.38	330.88	200
201	177.95	178.95	179.86	180.71	187.15	191.89	199.55	215.43	246.63	332.54	201
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
n	Probabilidad de pérdida (E)										n

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
201	177.95	178.95	179.86	180.71	187.15	191.89	199.55	215.43	246.63	332.54	201
202	178.91	179.91	180.82	181.67	188.14	192.90	200.58	216.53	247.88	334.21	202
203	179.87	180.87	181.79	182.64	189.13	193.91	201.62	217.64	249.13	335.88	203
204	180.82	181.83	182.75	183.61	190.12	194.92	202.66	218.74	250.38	337.54	204
205	181.78	182.79	183.72	184.58	191.11	195.93	203.70	219.85	251.63	339.21	205
206	182.74	183.76	184.69	185.55	192.10	196.94	204.74	220.95	252.87	340.88	206
207	183.70	184.72	185.65	186.52	193.10	197.95	205.78	222.06	254.12	342.54	207
208	184.66	185.68	186.62	187.48	194.09	198.96	206.82	223.17	255.37	344.21	208
209	185.62	186.65	187.58	188.45	195.08	199.97	207.85	224.27	256.62	345.88	209
210	186.58	187.61	188.55	189.42	196.07	200.97	208.89	225.38	257.87	347.54	210
211	187.54	188.57	189.52	190.39	197.06	201.98	209.93	226.48	259.12	349.21	211
212	188.50	189.54	190.48	191.36	198.06	202.99	210.97	227.59	260.37	350.88	212
213	189.46	190.50	191.45	192.33	199.05	204.00	212.01	228.69	261.61	352.54	213
214	190.42	191.46	192.42	193.30	200.04	205.01	213.05	229.80	262.86	354.21	214
215	191.38	192.43	193.38	194.27	201.03	206.02	214.09	230.90	264.11	355.87	215
216	192.34	193.39	194.35	195.24	202.02	207.03	215.13	232.01	265.36	357.54	216
217	193.30	194.35	195.32	196.21	203.02	208.04	216.17	233.12	266.61	359.21	217
218	194.26	195.32	196.29	197.18	204.01	209.05	217.21	234.22	267.86	360.87	218
219	195.23	196.28	197.25	198.15	205.00	210.06	218.25	235.33	269.11	362.54	219
220	196.19	197.25	198.22	199.12	206.00	211.07	219.29	236.43	270.36	364.21	220
221	197.15	198.21	199.19	200.09	206.99	212.08	220.33	237.54	271.60	365.87	221
222	198.11	199.18	200.16	201.06	207.98	213.09	221.37	238.65	272.85	367.54	222
223	199.07	200.14	201.12	202.04	208.97	214.10	222.41	239.75	274.10	369.21	223
224	200.03	201.11	202.09	203.01	209.97	215.11	223.45	240.86	275.35	370.87	224
225	201.00	202.07	203.06	203.98	210.96	216.12	224.48	241.96	276.60	372.54	225
226	201.96	203.04	204.03	204.95	211.95	217.14	225.52	243.07	277.85	374.21	226
227	202.92	204.00	205.00	205.92	212.95	218.15	226.56	244.18	279.10	375.87	227
228	203.88	204.97	205.97	206.89	213.94	219.16	227.60	245.28	280.35	377.54	228
229	204.85	205.94	206.94	207.86	214.94	220.17	228.65	246.39	281.59	379.21	229
230	205.81	206.90	207.91	208.84	215.93	221.18	229.69	247.49	282.84	380.87	230
231	206.77	207.87	208.87	209.81	216.92	222.19	230.73	248.60	284.09	382.54	231
232	207.73	208.83	209.84	210.78	217.92	223.20	231.77	249.71	285.34	384.21	232
233	208.70	209.80	210.81	211.75	218.91	224.21	232.81	250.81	286.59	385.87	233
234	209.66	210.77	211.78	212.72	219.91	225.22	233.85	251.92	287.84	387.54	234
235	210.62	211.73	212.75	213.70	220.90	226.23	234.89	253.02	289.09	389.21	235
236	211.59	212.70	213.72	214.67	221.90	227.25	235.93	254.14	290.34	390.87	236
237	212.55	213.67	214.69	215.64	222.89	228.26	236.97	255.24	291.58	392.54	237
238	213.52	214.64	215.66	216.61	223.88	229.27	238.01	256.34	292.83	394.21	238
239	214.48	215.60	216.63	217.59	224.88	230.28	239.05	257.45	294.08	395.87	239
240	215.44	216.57	217.60	218.58	225.87	231.29	240.09	258.56	295.33	397.54	240
241	216.41	217.54	218.57	219.58	226.87	232.30	241.13	259.66	296.58	399.21	241
242	217.37	218.50	219.54	220.58	227.86	233.32	242.17	260.77	297.83	400.87	242
243	218.34	219.47	220.51	221.48	228.86	234.33	243.21	261.88	299.08	402.54	243
244	219.30	220.44	221.48	222.43	229.85	235.34	244.25	262.98	300.33	404.21	244
245	220.27	221.41	222.46	223.43	230.85	236.35	245.29	264.09	301.58	405.87	245
246	221.23	222.38	223.43	224.40	231.84	237.36	246.34	265.20	302.82	407.54	246
247	222.20	223.34	224.40	225.37	232.84	238.38	247.38	266.30	304.07	409.21	247
248	223.16	224.31	225.37	226.35	233.84	239.39	248.42	267.41	305.32	410.87	248
249	224.13	225.28	226.34	227.32	234.83	240.40	249.46	268.52	306.57	412.54	249
250	225.09	226.25	227.31	228.30	235.83	241.41	250.50	269.62	307.82	414.21	250
251	226.06	227.22	228.28	229.27	236.82	242.43	251.54	270.73	309.07	415.87	251
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
n	Probabilidad de pérdida (E)										n

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
251	226.06	227.22	228.28	229.27	236.82	242.43	251.54	270.73	309.07	415.87	251
252	227.02	228.19	229.25	230.25	237.82	243.44	252.58	271.84	310.32	417.54	252
253	227.99	229.16	230.23	231.22	238.81	244.45	253.62	272.94	311.57	419.20	253
254	228.95	230.12	231.20	232.19	239.81	245.46	254.67	274.05	312.82	420.87	254
255	229.92	231.09	232.17	233.17	240.81	246.48	255.71	275.16	314.07	422.54	255
256	230.89	232.06	233.14	234.14	241.80	247.49	256.75	276.26	315.31	424.20	256
257	231.85	233.03	234.11	235.12	242.80	248.50	257.79	277.37	316.56	425.87	257
258	232.82	234.00	235.09	236.09	243.80	249.52	258.83	278.48	317.81	427.53	258
259	233.78	234.97	236.06	237.07	244.79	250.53	259.87	279.58	319.06	429.20	259
260	234.75	235.94	237.03	238.04	245.79	251.54	260.91	280.69	320.31	430.87	260
261	235.72	236.91	238.00	239.02	246.78	252.56	261.96	281.80	321.56	432.53	261
262	236.68	237.88	238.98	239.99	247.78	253.57	263.00	282.90	322.81	434.20	262
263	237.65	238.85	239.95	240.97	248.78	254.58	264.04	284.01	324.06	435.87	263
264	238.62	239.82	240.92	241.95	249.77	255.60	265.08	285.12	325.31	437.53	264
265	239.58	240.79	241.89	242.92	250.77	256.61	266.12	286.23	326.56	439.20	265
266	240.55	241.76	242.87	243.90	251.77	257.62	267.17	287.33	327.80	440.87	266
267	241.52	242.73	243.84	244.87	252.77	258.64	268.21	288.44	329.05	442.53	267
268	242.49	243.70	244.81	245.85	253.76	259.65	269.25	289.55	330.30	444.20	268
269	243.45	244.67	245.79	246.82	254.76	260.66	270.29	290.65	331.55	445.87	269
270	244.42	245.64	246.76	247.80	255.76	261.68	271.33	291.76	332.80	447.53	270
271	245.39	246.61	247.73	248.78	256.75	262.69	272.38	292.87	334.05	449.20	271
272	246.36	247.58	248.71	249.75	257.75	263.71	273.42	293.98	335.30	450.87	272
273	247.32	248.55	249.68	250.73	258.75	264.72	274.46	295.08	336.55	452.53	273
274	248.29	249.52	250.66	251.71	259.75	265.73	275.50	296.19	337.80	454.20	274
275	249.26	250.50	251.63	252.68	260.74	266.75	276.55	297.30	339.05	455.87	275
276	250.23	251.47	252.60	253.66	261.74	267.76	277.59	298.40	340.30	457.53	276
277	251.20	252.44	253.58	254.64	262.74	268.78	278.63	299.51	341.54	459.20	277
278	252.16	253.41	254.55	255.61	263.74	269.79	279.67	300.62	342.79	460.87	278
279	253.13	254.38	255.53	256.59	264.74	270.80	280.71	301.73	344.04	462.53	279
280	254.10	255.35	256.50	257.57	265.73	271.82	281.76	302.83	345.29	464.20	280
281	255.07	256.32	257.48	258.54	266.73	272.83	282.80	303.94	346.54	465.87	281
282	256.04	257.30	258.45	259.52	267.73	273.85	283.84	305.05	347.79	467.53	282
283	257.01	258.27	259.42	260.50	268.73	274.86	284.89	306.16	349.04	469.20	283
284	257.98	259.24	260.40	261.48	269.73	275.88	285.93	307.26	350.29	470.87	284
285	258.95	260.21	261.37	262.45	270.72	276.89	286.97	308.37	351.54	472.53	285
286	259.91	261.18	262.35	263.43	271.72	277.91	288.01	309.48	352.79	474.20	286
287	260.88	262.16	263.32	264.41	272.72	278.92	289.06	310.58	354.04	475.87	287
288	261.85	263.13	264.30	265.39	273.72	279.93	290.10	311.69	355.28	477.53	288
289	262.82	264.10	265.27	266.36	274.72	280.95	291.14	312.80	356.53	479.20	289
290	263.79	265.07	266.25	267.34	275.72	281.96	292.18	313.91	357.78	480.87	290
291	264.76	266.05	267.23	268.32	276.72	282.98	293.23	315.01	359.03	482.53	291
292	265.73	267.02	268.20	269.30	277.71	283.99	294.27	316.12	360.28	484.20	292
293	266.70	267.99	269.18	270.28	278.71	285.01	295.31	317.23	361.53	485.87	293
294	267.67	268.96	270.15	271.25	279.71	286.02	296.36	318.34	362.78	487.53	294
295	268.64	269.94	271.13	272.23	280.71	287.04	297.40	319.44	364.03	489.20	295
296	269.61	270.91	272.10	273.21	281.71	288.05	298.44	320.55	365.28	490.87	296
297	270.58	271.88	273.08	274.19	282.71	289.07	299.49	321.66	366.53	492.53	297
298	271.55	272.86	274.06	275.17	283.71	290.09	300.53	322.77	367.78	494.20	298
299	272.52	273.83	275.03	276.15	284.71	291.10	301.57	323.88	369.03	495.87	299
300	273.49	274.80	276.01	277.13	285.71	292.12	302.62	324.98	370.28	497.53	300
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
n	Probabilidad de pérdida (E)										N

## BIBLIOGRAFÍA

Libro: Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal, autor: David Muñoz Rodríguez, editorial: Alfaomega, Edición 2002

Libro: Wireless Communications Principles and Practice, autor: Theodore S. Rappaport, editorial: Prentice Hall PTR, edición 2002

Libro: W-CDMA and CDMA 2000 for 3G Mobile Networks, autores: M.R. Karim, Mohsen Sarraf. Editorial: McGraw-Hill, edición 2002

Libro: Telefonía Móvil, autores: Francisco Barceló, Javier Jordán. Editorial: Alfaomega. Edición 2002

<http://www.cofetel.gob.mx>

IEEE Comunicaciones. "Servicios de Comunicaciones Personales", Vol. 34 No. 3,9,12. 1996

Libro: Comunicaciones móviles. Autor: Eugenio Rey . Editorial: Marcombo, edición de 1998.

FREEMAN, Roger L "Telecommunicatios System Engineering"  
Wiley Series in telecommunications Pags. 7-31

Apuntes de Clase de Telefonía

<http://www.itu.int/itudoc/itu-d/dept/psp/ssb/planitu/plandoc/erlangt-es.html>

<http://www.emprosoft.com/spain/estudios.htm>

<http://www.cabtfe.es/telecomunicaciones/telefono.html>

<http://www.nokia.com>

<http://www.ericson.com>

<http://www.motorola.com>

<http://www.cdma2000.com>

Libro: Comunicaciones y Redes de Computadoras, Autor: William Stalling, Quinta Edición, Editorial Prentice Hall.

Libro: Redes de Computadoras, Autor: Andrew S. Tanenbaum, Tercera Edición, Editorial: Pearson.

