

15



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMACIÓN DE REDES
CELULARES TDMA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

P R E S E N T A :

LAURA YADIRA GUERRERO OLIVARES

ASESOR: DR. ABEL HERRERA CAMACHO



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Ciudad Universitaria

México D.F., Junio de 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Para Laura, Guillermo, Yazmin, Paulino y a mis abuelos Isabel, Paulina
y Rafael, por haberme dado la fortaleza de buscar mis anhelos a través
de la constancia y la voluntad. Por estar siempre, gracias.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería por todo el conocimiento y formación durante mis años de estudio.

Al Dr. Abel Herrera Camacho por su apoyo y supervisión de este trabajo.

A todos los profesores que integran el cuerpo docente del Departamento de Telecomunicaciones por su constante interés.

Al profesor Castañeda por la formación recibida en los primeros años de ciencias básicas.

A mis padres por su apoyo y cariño.

A mis hermanos por su comprensión y apoyo.

A Fabricio por estar aquí y por compartir.

A toda mi familia y amigos.

A Paola, Silvia, Noemi, Cristina, Ismael, Claudia, María Eugenia, Victor, Baborá, Yoav, Claudia y Jorge por su amistad.

A la generación 94-98 de Telecomunicaciones

A la familia Martínez Becerril

Introducción.....	3
1. Industria y escenario de la telefonía celular	5
1.1 El Mercado de la telefonía celular.....	5
1.1.1. Aparición histórica de estándares	5
1.1.2. Distribución del mercado de acuerdo a la tecnología.....	10
1.1.3. Demanda y crecimiento del servicio de telefonía celular	14
1.2 Evolución del mercado: Nuevos servicios	22
1.2.1 México.....	29
2. Conceptos básicos de la telefonía celular	32
2.1 Propagación.....	32
2.1.1 Mecanismos de propagación	32
2.1.2 Desvanecimientos (Fading).....	33
2.1.3 Modelos de propagación.....	34
2.2 Reuso de frecuencias.....	41
2.3 Agrupamientos	43
2.4 Interferencia.....	44
2.5 Distancia de reuso.....	45
2.5.1 Geometría celular.....	45
2.5.2 Reticula de planificación celular (grid)	46
2.5.3 Sectorización.....	50
2.6 Tránsito de llamada.....	53
2.7 Roaming	53
2.8 Tráfico	54
2.8.1 Poisson, Erlang B y C	54
2.8.2 Grado de servicio	55
2.8.3 Dimensionamiento de un sistema celular.....	57
2.9 Eficiencia probabilística del área de cobertura (CAP)	60
2.9.1 Desviación estándar de la señal	61
2.9.2 Constante de decaimiento	61
2.10 Presupuesto del enlace (Link Budget).....	62
2.11 AMPS	64
2.11.1 Arquitectura y funcionamiento general.....	64
2.11.2 Características de canales	70
2.11.3 Procesos de llamada.....	72
2.12 TDMA	77
2.12.1 Arquitectura y funcionamiento general.....	77
2.12.2 Traspaso de llamada asistido por el móvil (MAHO, Movil Assited Handoff).....	89
2.13 Herramientas de diseño	91
2.13.1 Calibración del modelo.....	98
2.13.2 Bases de datos	102
2.14 Herramientas de recolección de datos.....	103
3. Elementos para la evaluación de una red celular.....	109
3.1 Parámetros de evaluación	109
3.2 Fuentes de información.....	112
3.3 Generación de reportes de desempeño	113

4.	Metodología para la optimación de una red celular.....	120
4.1	Revisión del desempeño de la red celular.....	120
4.1.1	Elementos de diseño.....	120
4.1.2	Auditoria física de la red.....	129
4.1.3	Auditoria de bases de datos en el conmutador.....	130
4.2	Algoritmo de Optimación.....	131
4.2.1	Análisis y optimación de cobertura.....	134
4.2.2	Optimación del tráfico.....	136
4.2.3	Relación Cobertura –Tráfico, en un red inalámbrica.....	139
4.2.4	Estadísticas.....	142
4.2.5	Servicio.....	145
4.2.6	Parámetros.....	146
5.	Conclusiones.....	161
Anexo 1	.....	164
1.1	PCS.....	164
1.2	Telefonía local inalámbrica.....	169
Anexo 2	.....	172
2.1	Caracterización de las señales.....	172
2.2	Modulación.....	174
2.3	Modelos de canal.....	175
2.4	Ecuador.....	176
2.5	Salto de frecuencias.....	178
2.6	Codificación de voz.....	179
2.7	Vocoders.....	180
2.8	Predicción lineal con excitación residual.....	183
Anexo 3	.....	184
3.1	Sistemas de primera generación.....	184
3.2	Sistemas de segunda generación.....	185
Acronimos.....		186
Referencias.....		192

Introducción

El contexto de las comunicaciones inalámbricas está conformando por una verdadera constelación de equipos, servicios y normas, un mundo donde el cambio es continuo y donde consecuentemente el factor incertidumbre puede alcanzar niveles apreciables.

Este trabajo analiza la importancia de los sistemas de telefonía celular, su entorno tecnológico y de mercado.

Como se presenta al inicio de este trabajo, las redes de telefonía celular han sufrido un crecimiento considerable y apresurado en los últimos 5 años. Estas redes han sido y están siendo implementadas haciendo uso de diferentes tecnologías y estándares con el único objetivo de satisfacer las necesidades de comunicación de los usuarios (sociedad).

Las redes de telefonía celular han sufrido cambios considerables a lo largo de la historia, esto incluye aspectos tecnológicos, de regulación, de mercado y de servicios poniendo a los proveedores de servicios (operadores) en continua competencia para obtener mas usuarios y mejor uso de sus recursos.

Es por eso que este trabajo plantea la optimación de redes y con ello el mejoramiento del desempeño de estas así como el aprovechamiento de recursos como una forma de enfrentar la competencia que se presenta en este mercado, dirigido particularmente a redes con técnica de acceso TDMA .

Para lograr esto y una mejor comprensión, se presentan diversos capítulos, cada uno con un objetivo en particular.

Así pues en el capítulo uno se presenta el desarrollo del mercado a nivel mundial y nacional, sensibilizándonos de esta forma en el tamaño del mercado, y de las diferentes opciones tecnológicas así como del crecimiento en la demanda del uso de estas redes.

En el capítulo dos se presenta la teoría básica y elementos que se involucran en una red de telefonía celular con la finalidad de comprender mejor los capítulos siguientes. Este capítulo presenta conceptos de diseño de redes, implementación y herramientas que nos permiten realizar las redes de telefonía celular desde su concepción, crecimiento y optimación.

En el capítulo tres se presenta de manera muy clara las características de una red que permiten evaluar su desempeño y calidad siendo estos los focos de trabajo durante los procesos de optimación de la red ayudando a no perderse en

INTRODUCCIÓN

la gran cantidad de información que genera un sistema tan complejo como lo es una red de telefonía celular.

En el capítulo cuatro se presenta una metodología ordenada, lógica e iterativa de cómo realizar una optimización presentando recomendaciones, sin perder nunca de vista las tres características que definen la calidad de un sistema en el capítulo tres.

Por último en el capítulo cinco se presenta un balance del algoritmo propuesto.

Como apoyo para este trabajo se presenta diversa información en los apéndices y anexos.

1. Industria y escenario de la telefonía celular

1.1 El Mercado de la telefonía celular

Dentro del campo de las telecomunicaciones, el sector de las Comunicaciones Móviles es, hoy día, uno de los más dinámicos, con unos elevados índices de crecimiento de usuarios y grandes volúmenes de crecimiento de inversión y de negocio.

Este desarrollo tal vez se debe a la libertad de uso de un terminal radiomóvil que no está vinculado por conexiones rígidas a ningún sistema fijo. Si bien las radiocomunicaciones, como telecomunicaciones inalámbricas se vienen usando desde hace mucho tiempo, los avances tecnológicos en microelectrónica y telemática han permitido poner a disposición del público teléfonos inalámbricos de reducido volumen y peso con lo cual el usuario puede disfrutar plenamente de la función de movilidad inherente a todas las radiocomunicaciones. Su respuesta no se ha hecho esperar y los índices de crecimiento han superado las mejores previsiones.

También ha contribuido a esta expansión, por una parte la política de liberación de las telecomunicaciones emprendida hace algunos años que ha incentivado la competitividad entre operadores (proveedores del servicio) y una guerra de tarifas en beneficio del usuario final como se presenta más adelante en el desarrollo de ésta tesis. Por otra parte la creciente disponibilidad de estándares técnicos universales con lo que se pasa de sistemas nacionales a internacionales, interconectables entre sí y se propician economías de escala con la producción masiva de equipos lo que repercute favorablemente en el precio de los mismos.

A continuación presento una reseña histórica que nos permita comprender las tecnologías que al día de hoy se reparten el mercado de la telefonía móvil (distribución de mercado) objetivo central de este primer capítulo.

1.1.1. Aparición histórica de estándares

El desarrollo de las comunicaciones móviles se inició a principios de los años 20 cuando el departamento de Policía de Detroit efectuó los primeros experimentos de transmisión unidireccional en la banda 2 MHz para que la estación base pudiera transmitir mensajes de aviso a los coches de policía (los cuales debían llamar por teléfono a la central para averiguar de qué se trataba. En 1931 se

puso en funcionamiento el primer sistema de comunicaciones bidireccional y en los años sucesivos se produjo una notable extensión de los sistemas de radiocomunicaciones entre los servicios públicos como policía, bomberos, etc. De forma que en 1934 existía tal cantidad de usuarios que la recién instaurada FCC (Federal Communications Commission) comenzó a experimentar los efectos de la saturación del espectro de frecuencias.

El siguiente hito importante en las comunicaciones móviles vino marcado por Edwin H. Armstrong quien en 1935 publicó un importante trabajo sobre las propiedades de las señales de Frecuencia Modulada (FM). En este tipo de modulación la información se transporta en la frecuencia instantánea de la señal y no en la amplitud como sucede con la modulación de amplitud. Por ello, resulta mucho más resistente a los desvanecimientos rápidos que sufre la señal en entornos móviles, por lo que requeriría mucha menos potencia transmitida. Así, a finales de los años 30 la policía de Connecticut desarrolló el primer sistema de comunicaciones móviles en FM y alrededor de 1940 casi todos los sistemas de radio de la policía e los EE.UU. se habían reducido hacia la FM.

Así, entre 1940 y 1941 las compañías Bell Laboratories y Western Electric emprendieron el desarrollo de sistemas de comunicaciones móviles para vehículos militares. Se realizaron enormes progresos en cuanto a fiabilidad, reducción de tamaño y disminución de costos de forma que se originó la capacidad tecnológica necesaria para desarrollar sistemas FM comerciales. Como consecuencia, en 1946 se estableció el primer sistema de telefonía móvil pública el cual se extendió a 25 ciudades estadounidenses. Estos sistemas se basaban en la modulación FM y utilizaban una arquitectura de gran cobertura, con un único transmisor de alta potencia que proporcionaba servicio a la mayor parte del área metropolitana. La demanda de estos servicios creció vertiginosamente de forma que la capacidad de frecuencias se vio excedida en muchas ciudades, con el consiguiente deterioro de la calidad.

Otro importante desarrollo tecnológico surgido durante este periodo fue la invención y aplicación de los sistemas de trunking automático. En los sistemas anteriores, el transmisor y el receptor operaban a una frecuencia determinada que estaba dedicada a un único usuario o a un número reducido de ellos. El concepto de trunking permite el total acceso de todos los usuarios a todos los canales de la banda, de forma que se incrementa notablemente la capacidad del sistema y la eficiencia espectral.

A mediados de los años 60 se puso en funcionamiento el sistema IMTS (*Improved Mobile Telephone System*) que incluía el *trunking* o encaminamiento automático de la llamada, servicio bidireccional (*full-duplex*) y marcación directa. De hecho, este sistema introducía en los sistemas de telefonía móvil todas las funciones y características con las que contaban los sistemas de telefonía vía cable. Las primeras pruebas de campo se llevaron a cabo en la ciudad de Harrisbur, Pensylvania, entre 1962 y 1964 y hacia 1965 el servicio IMTS había

sido instaurado en numerosas ciudades y constituyó el inmediato predecesor de los *sistemas celulares*.

A pesar de que el sistema de IMTS constituía un importante avance respecto a sus predecesores, el problema de la saturación espectral distaba mucho de encontrarse resuelto. Cada estación base disponía únicamente de 25 canales para dar servicio a zonas de cobertura cuyos radios eran del orden de 50 a 70 km. Un ejemplo de lo que esto suponía en zonas muy densamente pobladas lo constituye el caso de Nueva York, que con sus aproximadamente 20 millones de habitantes en 1970 sólo podía establecer 12 llamadas simultáneas. Para solucionar esta situación, ya en 1947 *D.H. Ring* de *AT&T Bell Laboratories* introdujo en un trabajo no publicado el concepto de *arquitectura celular*. Ring abandonó el modelo de una única estación base que da servicio a una amplia zona de cobertura y propuso el uso de un gran número de estaciones base de baja potencia cada una de las cuales debía dar servicio a una pequeña zona de cobertura denominada *célula*. El sistema permite la reutilización de las mismas frecuencias en células o celdas suficientemente separadas para que la interferencia mutua sea tolerable, con lo cual se multiplica la capacidad de una banda de frecuencias.

La aplicación práctica del concepto celular requiere por un lado la disponibilidad de una banda de frecuencias de cierto tamaño y por otro el desarrollo de sistemas de señalización y control complejos para efectuar el seguimiento de las llamadas. Los escasos canales disponibles en la IMTS eran, insuficientes para la aplicación celular.

Los primeros sistemas comerciales, operativos en los EE.UU. no aparecieron hasta mediados de los años 80. En concreto, el primer sistema celular comenzó a operar en octubre de 1983 en Chicago bajo la denominación *AMPS (Advanced Mobile Phone Service)* que opera en la banda de los 800 MHz.

Hasta este momento nos hemos centrado en la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles estadounidenses, pues fue allí donde se inició el desarrollo de este tipo de servicios. En Europa el desarrollo en el pasado experimentó un comportamiento similar al de EE.UU. Los pioneros fueron los países nórdicos (Noruega, Suecia, Finlandia y Dinamarca), los cuales en 1981 especificaron el primer sistema móvil celular denominado *NMT-450 (Nordiska Mobil Telefongruppen)* que trabaja en la banda de 450 MHz. En paralelo se desarrolló en Gran Bretaña el sistema *TACS (Total Access Communications System)* que al igual que el americano *AMPS* también una versión de su sistema en la banda de los 900 MHz denominado *NMT-900* que presenta facilidades adicionales que le permiten incrementar su capacidad y el uso de unidades móviles portátiles.

En líneas generales, todos los sistemas celulares desarrollados eran similares pero incompatibles. Por otra parte, cada país optó por uno u otro sistema en

función de criterios exclusivamente nacionales, por lo que no se desarrolló un sistema de radiocomunicaciones celulares estándar universal. Como consecuencia, no existía la posibilidad de establecer ni recibir llamadas cuando el usuario se encontraba en un país diferente, lo que se conoce por *roaming* internacional. Debido a todos estos problemas y al previsible desbordamiento de la capacidad de estos sistemas analógicos a corto plazo, se inició en Europa a principios de los años 80 el estudio para el desarrollo de un sistema digital o la llamada segunda generación.

Los sistemas celulares de primera generación adolecen de la inherente insuficiencia tecnológica para soportar el concepto celular en toda su amplitud. El alto costo, la pobre eficiencia espectral y los inoperantes estándares de servicio, limitados fundamentalmente por la tecnología analógica en FM, obliga a plantear un giro radical tanto en tecnología como en estandarización y regulación del mercado. La solución tecnológica pasa ineludible por la utilización de esquemas de modulación digitales de alta eficiencia espectral, dada la robustez que presentan frente a los efectos degradantes del canal de propagación y la interferencia co-canal. Por otra parte, si importante es el aspecto tecnológico, no lo es menos el establecimiento de un marco político, económico y jurídico que permitan la adecuada prestación de servicios. En esta materia son fundamentales los acuerdos entre los diferentes países en cuanto a estandarización, que facilitan la interconexión entre ellos y evita la fragmentación del mercado, la liberación del mercado y el desarrollo de los aspectos regulatorios tanto en lo referente a la gestión del espectro radioeléctrico como en la ordenación jurídica de los diferentes servicios.

La introducción a principios de la década de los 80 de los servicios analógicos de telefonía móvil automática (TMA) supuso el inicio de una etapa de fuerte crecimiento del mercado. A ello contribuyeron la disponibilidad del espectro radioeléctrico, la disminución del precio de los terminales y del costo del servicio, la ampliación de la zona de cobertura, la mejora de la calidad del servicio y la política de comercialización adoptada.

La búsqueda de un sistema digital que pudiera en un futuro próximo sustituir a los sistemas móviles analógicos se inició en 1982 cuando la CEPT (*Conferencia Europea de Correos y Telecomunicaciones*) creó el grupo de trabajo GSM (*Groupe Special Mobile*), que dio nombre al sistema, y decidió proponer y construir un sistema digital celular de segunda generación para disponer de un sistema celular europeo compatible en todos los países que integraban la CEPT para facilitar lo que se conoce como el *full pan-european roaming*, o la absoluta movilidad a través de los países europeos. Con la finalidad de incrementar la capacidad celular ofertable.

La técnica de acceso elegida fue TDMA (*Time Division Multiple Access*), en la cual cada usuario dispone de la totalidad de la banda pero sólo durante ciertos instantes de tiempo, lo que le da mayor versatilidad a largo plazo para incorporar

funciones adicionales frente al acceso FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) de los sistemas analógicos.

Las ventajas que un sistema digital como el GSM aporta sobre sus predecesores analógicos no se limitan a la mayor eficiencia espectral, sino que abarcan otros campos como: mejora de las prestaciones del sistema en términos de calidad de voz, confidencialidad de la información y de la identidad de los usuarios, seguridad frente a usos fraudulentos del sistema, introducción de nuevos servicios entre los que cabe destacar los servicios de datos y el de mensajes cortos (mensajes alfanuméricos visualizables por el usuario en su propio terminal), compatibilidad con la red telefónica digital ISDN (*Integrates Services Digital Network*), cobertura europea (CEPT), economías de escala, acceso a través de tarjeta electrónica (smart-card), etc. A corto plazo, sin embargo, no se piensa que GSM desplace a los sistemas analógicos actuales, sino que conviva con ellos.

En paralelo al GSM se han definido otros dos sistemas de telefonía móvil digital TDMA, el ADC (*American Digital Cellular*) con su estándar IS-54 en Estados Unidos y el JDC (*Japanese Digital Cellular*) en Japón, o PDC. Sin embargo, la implementación del sistema GSM esta más avanzada que la de los otros, por lo que se está imponiendo en países árabes, países del sudeste asiático, Australia, etc., lo que hace que haya cambiado el significado de sus siglas, convirtiéndose en *Global System for Mobile Communications*.

El sistema GSM ha sido diseñado de forma que resulta totalmente incompatible con los sistemas analógicos celulares de primera generación. Por el contrario, dado el alto grado de penetración que los sistemas analógicos tienen en sus respectivos países, tanto el sistema americano ADC como el japonés JDC han buscado la compatibilidad con sus predecesores, de modo que la incorporación de nuevos radiocanales digitales se irán haciendo de forma paulatina sin detrimento del servicio ofreciendo a los usuarios de los sistemas analógicos.

En 1991 la *Unión Europea a través del Instituto Europeo de Normalización (ETSI)*, adoptó el estándar DCS-1800 (Digital Communications System), cuyo concepto parte de la base del GSM, pero trabaja en la banda de frecuencias de 1710-1880 MHz y utiliza terminales móviles de baja potencia, Gran Bretaña es el país en el que más avanzado se encuentra el desarrollo del DCS-1800, pues ya desde 1993 se encuentra en servicio comercial.

Por otra parte, en los Estados Unidos se ha producido una transición de los estándares celulares hacia los estándares para los Servicios de Comunicaciones Personales (PCS), entre los que destacan DCS-1800 y D-AMPS 1900 (basados en la técnica de acceso TDMA). Este último se basa en el interfaz aéreo del estándar IS-136 que a su vez es un desarrollo adicional del IS-54. D-AMPS 1900 se ha especificado como una tecnología PCS. Actualmente IS-54 es el estándar digital en operación en América del Norte. La revisión contenida en el

IS-136 proporciona mejoras colocando al D-AMPS en un nivel de prestaciones similar al de GSM. Los operarios TDMA prestan servicio a más de 68 millones de usuarios digitales y a más de 15 millones de usuarios analógicos. TDMA es la tecnología líder en términos de usuarios, operarios y de cobertura en el continente americano.

El movimiento hacia la convergencia basada en técnica de acceso TDMA permite que éste finalmente quede en primer plano. La empresa Ovum (según su informe de agosto 2000) predice que en el 2004, cuando los usuarios analógicos hayan disminuido al 3%, las tecnologías inalámbricas basadas en TDMA (GSM, IS-54 americano y el estándar japonés PDC) representaran el 79% de usuarios móviles globales.

Además, IS-95 es el primer estándar comercial de comunicaciones móviles que implementa la técnica de acceso CDMA (*Code Division Multiple Access*). Este sistema de comunicaciones personales se ha desplegado en la banda celular de 1900 MHz en USA y otros países del continente Americano, Corea, China y otros países de Asia.

1.1.2. Distribución del mercado de acuerdo a la tecnología

Dada la competitividad existente, los operadores de red y de servicios se esmeran en ofrecer a sus usuarios sistemas de comunicaciones móviles con especial acentuación en aspectos de cobertura territorial, capacidad de tráfico, claridad de voz así como una continuidad en la comunicación. Estas preocupaciones son las que han marcado la directrices en las diversas expansiones tecnológicas.

Estas expansiones han sido impulsadas principalmente por los factores históricos que ya se han mencionado, los cuales han determinado las condiciones que han resultado en números crecientes de usuarios. Al mismo tiempo, el mercado se ha dividido de acuerdo a la compartición de los recursos espectrales, a las técnicas de acceso múltiple y a los métodos de asignación de canal como lo son FDMA, TDMA y CDMA. Donde la tecnología soporte del sistema, condiciona la técnica de acceso y sus variantes. En este punto se distinguen las tecnologías en términos del formato de la información que manejan, tecnología analógica y tecnología digital (datos). La tecnología analógica condiciona la técnica de acceso a FDMA, mientras que la tecnología digital permite la adopción de cualquiera de las técnicas de acceso tanto TDMA como CDMA. Por consiguiente el diseño de un sistema múltiple implica la definición de dos elementos fundamentales: el método de asignación de canal y la estrategia de multiplexación. La multiplexación puede ser por división de frecuencia, tiempo y código, mientras que la asignación de canal es dependiente de la topología y de los recursos espectrales utilizados.

Para el análisis de la distribución de usuarios de telefonía celular^[1], consideraremos los sistemas líderes a través del número de usuarios a los que

proveen servicio. Sistemas como GSM, PDC que aún que su sistema de acceso sea TDMA se manejaran en forma independiente bajo esos nombres, IS-95 como CDMA, y las redes IS-54 con sus revisiones hasta IS-136 como TDMA (en el capítulo 2 en el inciso TDMA se describe mas ampliamente los estándares que en la industria son referidos simplemente como TDMA y que forman parte de las cifras y distribuciones que se presentan a continuación).

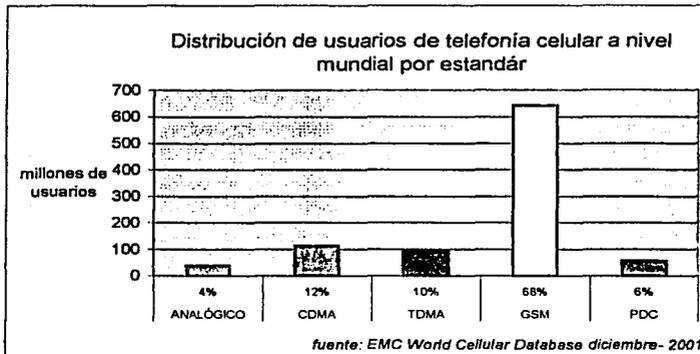


figura 1.1 Distribución de usuarios de telefonía celular a nivel mundial por estándar al 2001

En la gráfica 1.1 se observa que la mayoría de los usuarios de telefonía celular a nivel mundial actualmente se distribuye en los estándares digitales CDMA, TDMA y GSM por lo que considerando solo estas tres como protagonistas del mercado la distribución sería la siguiente, ver figura 1.2

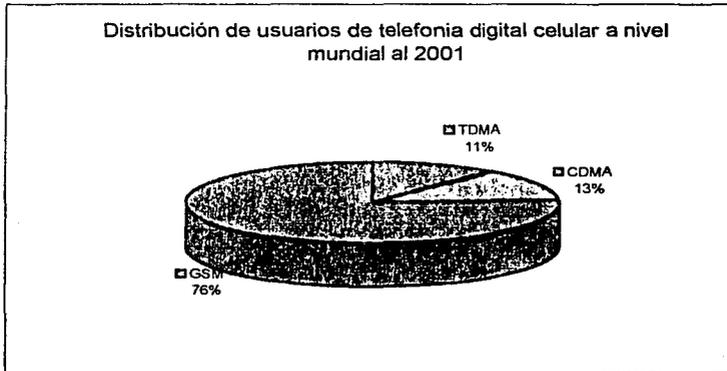


figura 1.2 Distribución de usuarios de telefonía digital celular a nivel mundial al 2001, fuente: EMC World Cellular Database al 2001

En las gráficas anteriores se muestra la distribución actual del mercado, sin embargo en la figura 1.3 se muestra la distribución que se tenía en el año 1997. Donde la distribución y cantidad de usuarios es muy diferente, mas adelante presento las circunstancias que han favorecido este cambio de escenario así como el crecimiento individual que han presentado los diferentes estándares.

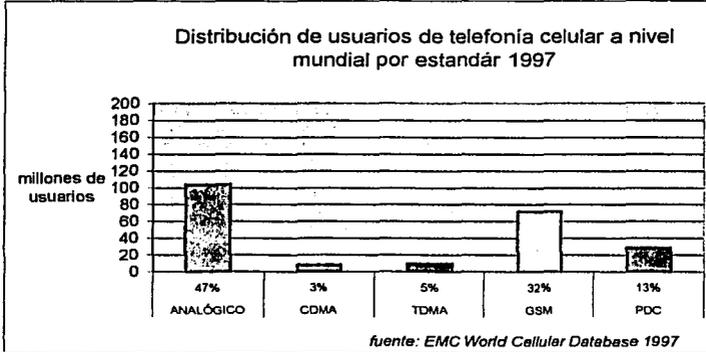


figura 1.3 Distribución de usuarios de telefonía celular a nivel mundial por estándar 1997

Actualmente GSM₍₂₎ es el sistema celular dominante con más del 68% del mercado celular. Contrario a lo que sucedía en 1997, donde los sistemas analógicos encabezaban la lista, GSM se ha colocado en la primera posición con 642.6 millones de usuarios al 2001. Siendo Europa, Asia y el Pacífico sus principales mercados, ver figura 1.1 y 1.4 .

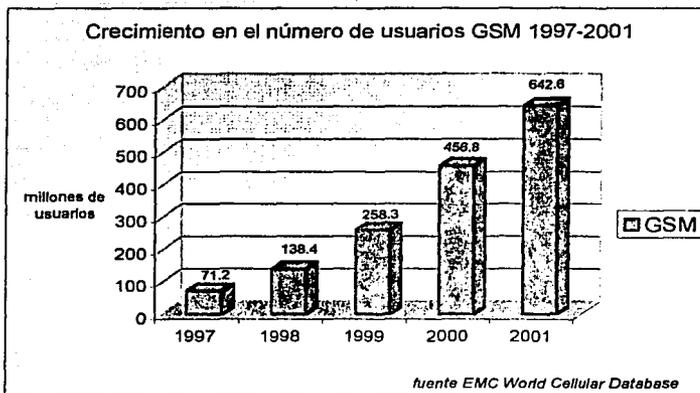


figura 1.4 Crecimiento en el número de usuarios GSM 1997-2001

Por otra parte, el crecimiento de CDMA₁₃ se favoreció del incremento del mercado asiático (principalmente por el mercado Chino) aproximado de 7.8 millones en 1997 a 111.35 al 2001, ver figura 1.5.

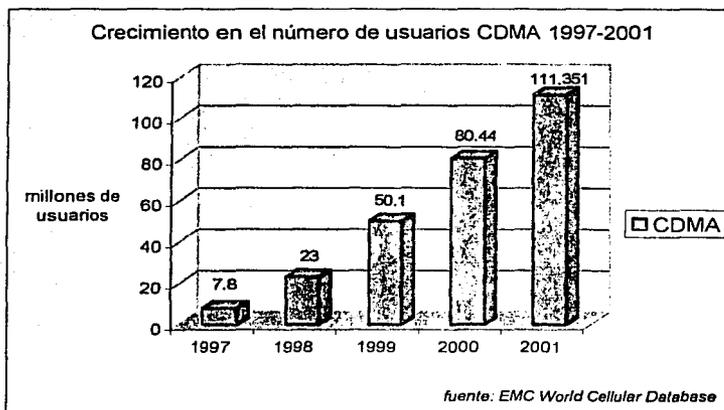


figura 1.5 Crecimiento en el número de usuarios CDMA 1997-2001

TDMA^[4] continúa un fuerte crecimiento en la región de América del norte, centro y sur. Actualmente como se muestra en la figura 1.6 con más de 94 millones en el 2001. TDMA continúa incluso mostrando un crecimiento aún más fuerte con un aumento de más del 100% en el año 2000 comparado con el año anterior.

En América Latina y el Caribe con aproximadamente 70% del mercado total en servicios TDMA basados en los servicios de prepago con un crecimiento del 90%.

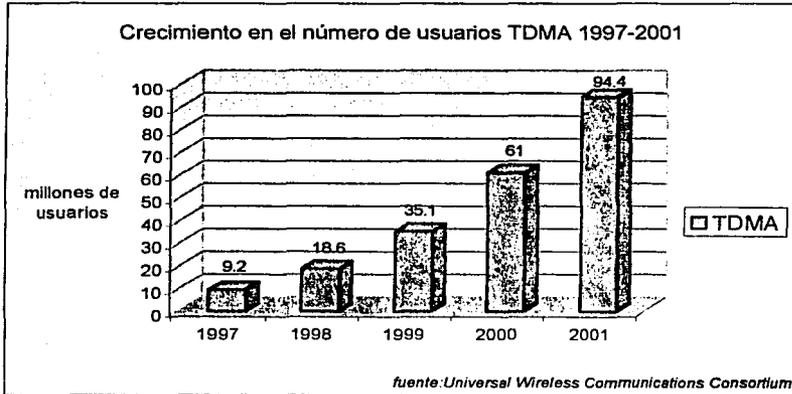


figura 1.6 Número mundial de usuarios a la tecnología TDMA

1.1.3. Demanda y crecimiento del servicio de telefonía celular

Basada en investigaciones de mercado diversas instituciones han concentrado sus estudios en predecir el continuo crecimiento manifiesto en la telefonía inalámbrica. La firma Cambridge Mass^[5] proyectó un incremento en los operadores de telefonía inalámbrica de 875 en 1999 a 937 a finales del 2000. Un crecimiento proyectado de 469 millones en 1999 a 1.26 billones para el 2005 con un rango de penetración del 20% a nivel global. Actualmente la penetración figura del 8%, Yankee Group^[6] prevé un 25% de penetración global en el periodo de los 10 próximos años como se muestra en la figura 1.8. De acuerdo a Cahners In-Stat Group^[7] para el tercer cuarto del 2002, el número de usuarios alcanzará la marca de 1 billón, con un rango de penetración de casi 17%, con un crecimiento aproximado a 1.87 billones para el cuarto cuarto del 2004 ver figura 1.7.

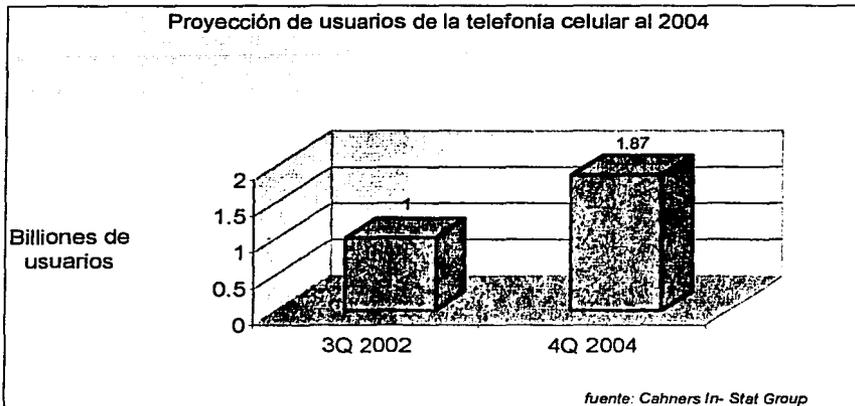


figura 1.7 Proyección de usuarios de la telefonía inalámbrica proporcionada por: Cahners In- Stat Group

Según el estudio realizado por In-Stat, se muestra que el aumento de usuarios en los países industrializados será regular. En Estados Unidos se predice un crecimiento promedio de 16.8 millones de usuarios por año durante los siguientes cinco años. Al igual que Yankee Group^[8], el número de usuarios estaría dado por un aumento del 21% de 1999 al 2000, aproximadamente a 105 millones. Las expectativas del número de usuarios de telefonía celular de datos en el 2000 figura de 2.9 millones con una predicción de 12.6 millones al 2002.

El crecimiento de Europa del Oeste espera un alto incremento, con una rápida aceleración en naciones como China y Europa del Este.

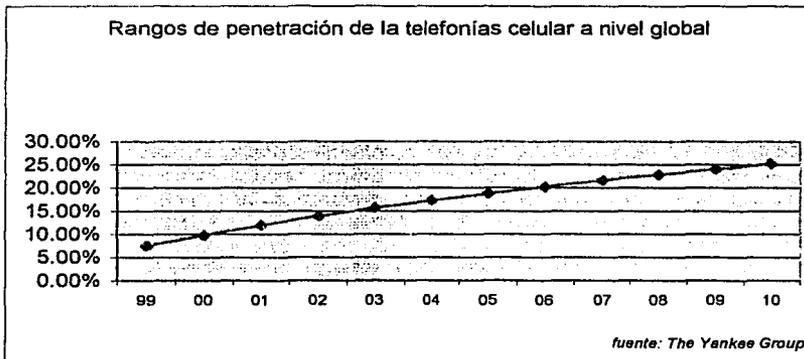


figura 1.8 Rangos de penetración de la telefonías celular a nivel global de 1999 al 2010 proporcionada por: Yankee Group

Existen otros parámetros que nos permiten visualizar el gran negocio que se ha desarrollando entorno a las comunicaciones inalámbricas.

El porcentaje de tráfico, como un factor comparativo entre la telefonía fija por celular se muestra en la figura 1.8. Según Yankee Group[9] estima que la teledensidad global en telefonía fija crecerá a 18.6% en el 2002 de 13.1 en 1996. Mientras que la teledensidad tendrá un factor 4 en crecimiento de 2.3% de 1996 a 8.3% en el 2002. Por otro lado el tráfico global de la telefonía celular del total del tráfico en telecomunicaciones registrado es de 3.6% en 1996 con una predicción de crecimiento de un 17.7% al 2002, con una tasa de incremento gradual de aproximadamente 2% por año ver figura 1.9. Por otra parte la compañía de estudios Alliance Business Intelligence[10] proyectan que en el 2004 el porcentaje de usuarios a la telefonía inalámbrica será del 21% mientras que para la telefonía fija será de 79% ver figura 1.10.

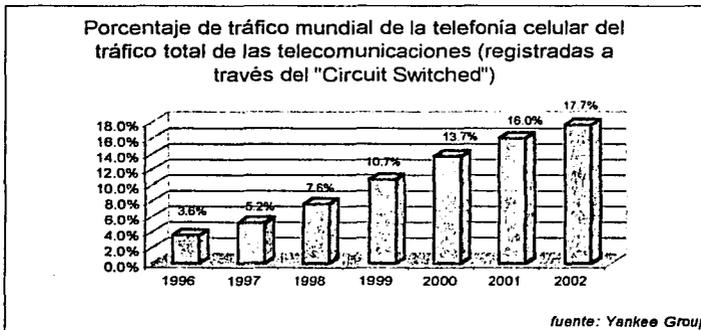


figura 1.9 Porcentaje de tráfico mundial de la telefonía celular del tráfico total de las telecomunicaciones (registradas a través del "Circuit Switched") proporcionadas por . Yankee Group

El futuro de el acceso a internet es la telefonía inalámbrica, de acuerdo Allied Business Intelligence, proyecta que para el 2004, el número de usuarios en banda ancha estará sobre 4 millones, esto a partir de 100,000 usuarios en 1999.

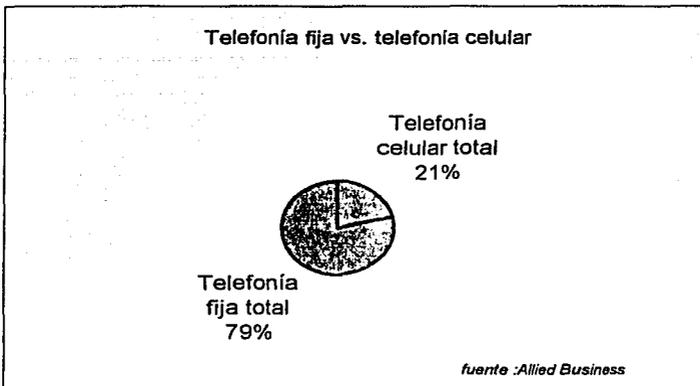


figura 1.10 Telefonía fija vs. telefonía celular proporcionada por: Allied Business Intelligence

La penetración de los servicios de la telefonía celular en zonas rurales fue lenta en la década pasada, pero se espera que alcance un 37% en el 2003, de acuerdo a Cahners In- Stat Group^[11] predice que será de un 59% el porcentaje de crecimiento en áreas rurales entre el 2000 y el 2003 como se muestra en la figura 1.11. El análisis concluye que los consumidores de zonas urbanas continuará siendo dominante, el mercado rural tendrá un significante porcentaje en ventas en los próximos años. La penetración en zonas rurales se debe a la satisfacción del servicio en los usuarios, ya que no se asegura que sea debido al bajo costo.

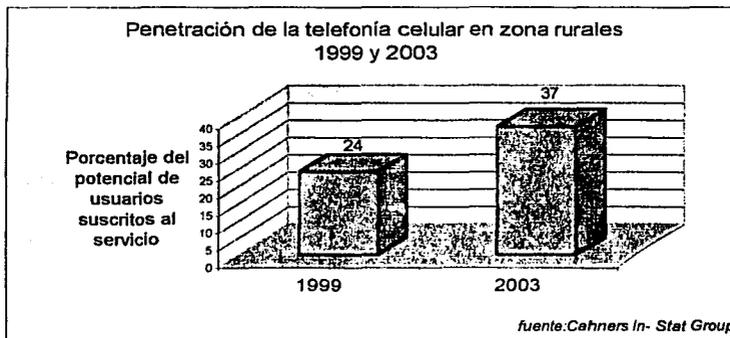


figura 1.11 Penetración de la telefonía celular en zona rurales 1999,2003 proporcionada por: Cahners In-Stat Group

En América Latina^[12], las expectativas en 1999 cambiaron de acuerdo al crecimiento que se tuvo durante los años 1997 y 1998, ver figura 1.12, debido a las condiciones económicas. En 1999 el mercado de servicios en telefonía celular se caracterizó por un periodo de transición por regulaciones, desarrollos intensos en infraestructura y fuertes inversiones. En 1998, eran las compañías del estado en su mayoría las que se encargaban de proveer todos los servicios en telecomunicaciones, compañías operando con gran cantidad de empleados, infraestructuras pobres desarrolladas, y una larga lista de interesados a ser suscritos.



figura 1.12 Usuarios de telefonía celular en América Latina proporcionada por: Frost & Sullivan

El promedio de crecimiento de servicios de telefonía inalámbrica en América Latina registrado al 2000 es de 58.6%, sin embargo, para el 2001 los resultados han sido desalentadores debido a la recesión de la industria.

La penetración en América Latina en un promedio regional, incremento del 10% en 1999 a 15.6% a finales del 2000. Debido al incremento, Yankee Group^[13] espera el comienzo de un lento descenso. El pronóstico del número total de usuarios de celulares alcanzará un 17.9% como componente anual en el crecimiento del 2000 al 2006 en toda la región, con un total de más del doble de 60 millones al 2000 a 162 millones al 2006.

Aumento en telefonía Móvil para Internet en América Latina

50 millones de latinoamericanos usarán teléfonos móviles para acceder a Internet, para el 2005 de acuerdo a las investigaciones realizadas por Júpiter Media Metrix^[14].

A fines del 2000, la cifra de usuarios de Internet por equipos inalámbricos en América Latina era de unas decenas de miles. Sin embargo se predice que el número alcanzará 52 millones para el 2005, muy cerca de los 67 millones que usarán las computadoras en ese año con el mismo fin.

Según Júpiter Media Metrix a fines del 2000, alrededor de 5% de los hogares latinoamericanos tenían computadoras, mientras que 12% de las personas de la región utilizaban teléfonos móviles. La brecha se ampliará para 2005, con apenas 13% de los hogares latinoamericanos con computadoras y 39% de la población con celulares.

Además, en el 2005, 25% de los latinoamericanos tendrán un teléfono móvil capaz de acceder a la Internet, o sea, un teléfono con micro navegador, no uno que solamente reciba y envíe mensajes textuales. Así como sólo un tercio de los residentes de la región que posean este tipo de teléfonos, alrededor del 9% de la población total de América Latina, serán usuarios activos de los servicios móviles de Internet.

1.1.3.1 Demanda y crecimiento de la telefonía celular en México

México esta en un proceso de crecimiento en materia de infraestructura y proveedores de servicios de telecomunicaciones, para cumplir con la demanda que pide el mercado actual de comunicaciones por lo que la mayoría de los segmentos son muy atractivos para el inversionista. Los mercados de larga distancia, celular y PCS se encuentran completamente liberalizados. El servicio de acceso local se abrió oficialmente a la competencia en el año de 1999 lo cual a generado varias disputas en material de interconexión entre los nuevos operadores y el operador dominante (TELMEX). Esto a generado que mucha de la nueva competencia tienda a ocurrir vía acceso inalámbrico y redes móviles inalámbricas. En el 2001 se ha abierto a la competencia los servicios vía Satélite, los cuales permanecían de forma monopólica en manos de SATMEX. La teledensidad en México aumento de 10.3% en 1998 a 11.2% en 1999 con 11 millones de líneas telefónicas instaladas, como se muestra en la figura 1.13. Sin embargo la penetración en áreas de remotas es mucho más baja que la medio nacional. El gobierno espera que la competencia propicie un aumento en el numero líneas en servicios esperando contar con 20 millones de líneas para el año 2003, lo cual esta promovido también por el uso y crecimiento en la Internet.

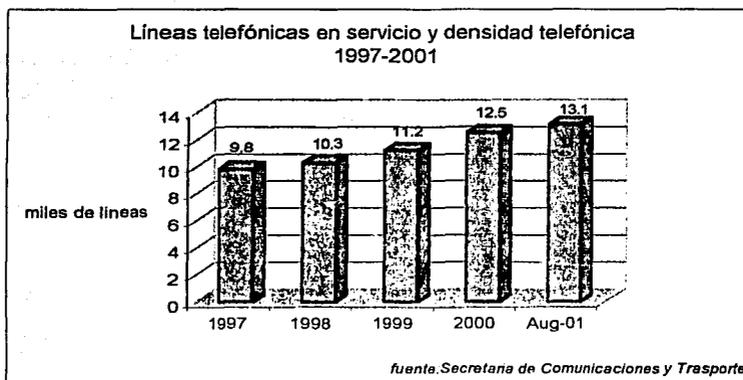


figura 1.13 Líneas telefónicas en servicio y densidad telefónica 1997-2001

El mercado inalámbrico ha experimentado un gran desarrollo pasando de 3.3 millones en 1998 a más de 17 millones a mediados del 2001, ver figura 1.14. Como se observa el número de usuarios móviles sobrepasa a los de líneas fijas instaladas. Los sistemas de prepago y la implementación de CPP (el que llama paga) han permitido este desarrollo.

Hasta los últimos años el mercado celular consistía de un duopolio en cada una de las regiones de México, formado por TELMEX que posee una licencia en cada región y un operador regional. La entrada al Mercado de los proveedores de PCS ha permitido que se cuente con una competencia Nacional contra TELMEX.

Los participantes en el mercado móvil son:

Radiomóvil DIPSA (TELCEL, subsidiaria de TELMEX hasta el 2001), forma parte del consorcio denominado América Móvil formado por BELL CANADA, SBC y TELMEX.

Grupo Iusacell, cuya participación esta dada por Verizon y Vodafone.
Operadores regionales Baja Celular, Movitel del Noreste, telefonía Celular del Norte, Celular de telefonía, todos esto comprados en el 2000 por Telefónica de España.

Pegaso, con participaciones de Sprint y GTE y Grupo Televisa.

Unefon, subsidiaria del Grupo Elektra y Televisión Azteca.

Nextel, proveedora de acceso móvil y trunking, comenzó operaciones en 1999.

Usuarios de Telefonía Móvil (Miles).

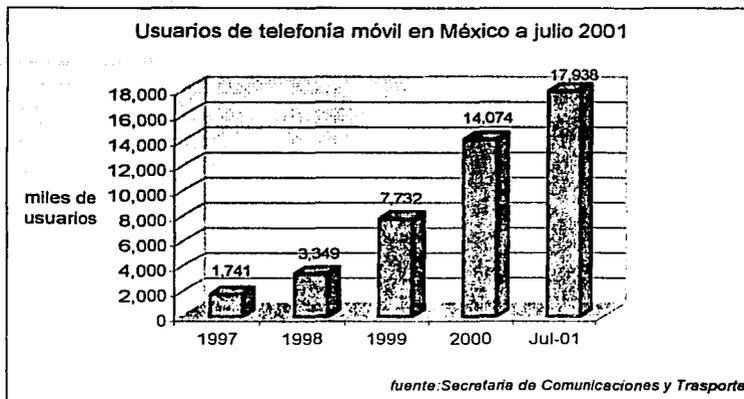


figura 1.14 Usuarios de telefonía móvil en México a julio 2001.

El número de usuarios de Internet creció de 250,000 en 1994 a más de 1.6 millones en el 2000, como se observa en la figura 1.15 y se espera un crecimiento del 56% anual. Prodigy-Telmex encabezan el Mercado. Otros competidores en el mercado de ISP son America Online, Terra networks (subsidiaria de telefonía Española), StarMedia Network, Avantel y Alestra.

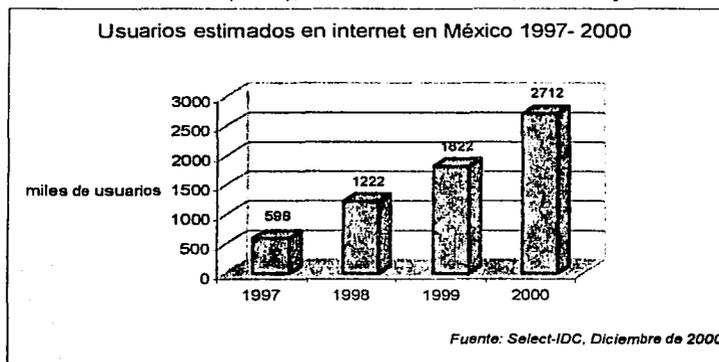


figura 1.15 Usuarios estimados de internet en México (miles) 1997 – 2000

Calidad del servicio de celulares

A partir del tercer trimestre de 1999, el servicio prestado por las compañías celulares ha presentado diversas fallas, deteriorando la calidad del servicio. El 20 de octubre 1999, la COFETEL y las empresas integrantes de la región 9

(Distrito Federal y los estados de México, Hidalgo y Morelos) suscribieron el "Sistema de Normas de Calidad", el cual adopta los siguientes índices de calidad:

- Intentos de llamadas no completadas: 7% máximo
- Llamadas caídas: 7 % máximo
- Tiempo de establecimiento de llamada: 20 segundos máximo

A partir del 1 de septiembre del 2000 hasta el 31 de marzo del 2001, los índices de calidad que se deberían cumplir son los siguientes:

- Intentos de llamadas no completadas: 5% máximo
- Llamadas caídas: 6 % máximo
- Tiempo de establecimiento de llamada: 12 segundos máximo

Consideraciones

En México se han implementado políticas en materia de telecomunicaciones con el objetivo de fomentar la competencia, lo que se traducirá en beneficios para el consumidor y la economía en su conjunto.

El Gobierno Federal esta llevando a cabo programas de carácter social con el objetivo de brindar servicios de telecomunicaciones en áreas rurales.

La regulación adicional a agentes con poder sustancial en el mercado es a través de la Ley Federal de Telecomunicaciones en los siguientes contextos:

Tarifas. Prevenir la fijación de tarifas predatorias o monopólicas. Trato no discriminatorio.

Calidad. Asegurar estándares mínimos de calidad a usuarios y operadores

Información. Garantizar la entrega de información necesaria a usuarios y operadores.

1.2 Evolución del mercado: Nuevos servicios

Hasta el presente los sistemas de comunicaciones móviles han sido desarrollados fundamentalmente para telefonía, tanto en sus aplicaciones públicas como privadas. Tras una primera generación analógica, nos encontramos en estos momentos en un mundo compartido por las tecnologías analógica y digital, pero con un claro y rápido avance hacia redes totalmente digitales. Esta evolución permitirá la introducción de nuevos servicios de datos una vez que se superen las arquitecturas diseñadas para voz.

Con el advenimiento de GSM se ven ampliadas las posibilidades de transmisión de datos en comunicaciones móviles pues este sistema incorpora facilidades

específicas para ello. Además, con la aparición del sistema GPRS (*General Packet Radio Service*) de GSM, actualmente en fase de comienzo de prestación de servicios, se posibilitará la transmisión de datos en modo conmutación por paquetes mucho más apropiada para las comunicaciones móviles de datos que la conmutación tradicional por circuitos.

El futuro de las comunicaciones móviles se dirige hacia la creación de un sistema capaz de proporcionar al usuario todos los servicios de la red fija con plena movilidad y de acuerdo a un número personal independiente del terminal y su localización. Este sistema se basa en la creación de una infraestructura de enlaces vía radio que proporcione una gran área de cobertura que incluya entornos domésticos, urbanos y no urbanos, y en la utilización de pequeños terminales móviles, ligeros y baratos. Dado el gran número potencial de terminales que cabe esperar, se precisa una gran reutilización de frecuencias, lo que se traduce en células de pequeñas dimensiones y posibilidad de utilización de terminales de poca potencia.

Con los sistemas móviles de segunda generación la tecnología ha evolucionado hacia técnicas digitales con conceptos de inteligencia de red. Sin embargo, estos sistemas se desarrollan esencialmente para soportar voz y transmisión de datos limitada y con baja capacidad (banda estrecha). Está en desarrollo una nueva generación de sistemas de comunicaciones móviles, con el objetivo de proveer servicios de banda ancha (voz, datos, vídeo, multimedia) en línea con los desarrollos tecnológicos existentes en las redes de telecomunicaciones fijas.

La evolución de la segunda generación va en la dirección de ofrecer un servicio con penetraciones de mercado a gran escala (en la línea de lo que puede ser el servicio telefónico actual), e integrador de todos los sistemas anteriores de la segunda generación, y un terminal de bolsillo tamaño calculadora. En los próximos años se espera que los sistemas digitales hayan estimulado el mercado masivo de las comunicaciones móviles. Para entonces los sistemas actuales habrán sido explotados al máximo de sus capacidades y no podrán satisfacer los requisitos de los usuarios en demanda y calidad. Será el momento para un sistema de tercera generación, el de las comunicaciones personales, un sistema universal, multifunción, que usará técnicas digitales desarrolladas a lo largo de los 90 y tecnologías del año 2000, este sistema se denomina en Europa UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*)

A escala mundial, la UIT está en fase de estandarización de este concepto en el marco IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications*). El sistema UMTS está concebido para proveer, de manera universal, una amplia variedad de servicios al usuario mediante el comunicador personal. En realidad UMTS soporta una mayor variedad de servicios con mayor calidad y mayores velocidades de transmisión que los sistemas de segunda generación.

En línea con lo anterior y con vistas a los requerimientos percibidos por los usuarios de comunicaciones móviles para el horizonte 2000-2010 las comunicaciones móviles deben prever por un lado la ampliación de servicios móviles para incluir multimedia y otros servicios de banda ancha así como la extensión del servicio para incluir sectores mayoritarios de la población, el desarrollo de redes tanto fijas como móviles adecuadas para la provisión de estos servicios y la disponibilidad de terminales ligeros y adaptables al tipo de servicios demandado.

Los servicios proporcionados por cada generación

2G	2.5 G	3G
Llamadas telefónicas	Llamadas telefónicas/ fax	Combinaciones de un teléfono móvil , laptop PC y televisión.
Correo de Voz	Correo de voz	Llamadas telefónicas/ fax
Recepción de mensajes simples e-mail	Envío/ recepción de mensajes largos de e-mail	Global Roaming
Velocidad: 10 kbps/sec.	Web	Envío / Recepción de mensajes largos de e-mail.
Tiempo de descarga de una canción MP3 de 3 min.: 31-41 min.	Navegación /mapas	Alta velocidad Web
	Noticias recientes	Navegación- Mapas
	Velocidad: 62-144 Kbps	Videoconferencias
	Tiempo de descarga de una canción MP3 de 3min.:6-9 min.	TV
		Agenda electrónica de recordatorio de citas
		Velocidad: 144 Kbps a 2 Mbps
		Tiempo de descarga de una canción MP3 de 3 min.: 11 seg. —1.5 min.

El mundo de las comunicaciones evoluciona rápidamente de la mano de sistemas móviles y de fenómenos más globales como Internet bajo el impulso de los desarrollos tecnológicos y las políticas de fomento de la competencia. La demanda de los usuarios crece y se hace más compleja y para satisfacerla es necesario mejorar la tecnología de banda ancha terrestre, celular y por satélite con sistemas como IMT-2000 que garanticen el acceso, con servicios que abarcan desde la telefonía básica hasta multimedia de alta calidad, cualquiera que sea la ubicación del usuario.

Los mercados para la multimedia fijo y móvil son grandes y están aumentando rápidamente. Los usuarios querrán combinar movilidad y multimedia lo que creará una mayor demanda de ancho de banda y un cambio de nuevo servicios de datos. La previsión en Europa del mercado del multimedia móvil para el 2005 se estima tan grande como era el mercado móvil en 1997.

Desde el punto de vista físico IMT-2000 se compone de un nuevo interfaz aéreo y nuevos componentes radio. El objetivo es combinarlos de forma modular con nuevos componente de red y con componentes de redes fijas y móviles pre IMT siempre que se hayan evolucionado. De esta forma los nuevos operadores podrán establecer redes IMT y se permitirá a los operadores actuales una migración suave al poder reutilizar parte de su infraestructura.

Para el usuario IMT proporcionará terminales adaptativos, multimodo y multibanda que permitan una itinerancia global y con sistemas de segunda generación. La carga de software en los terminales permitirá una flexibilidad adicional.

Desde finales de la década de los 80 se comenzó a estandarizar un sistema de comunicaciones móviles global en el ámbito de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. El primer paso hacia un sistema 3G global se dio con la reserva a nivel mundial de la banda de frecuencia para IMT-2000. Dicha decisión se adoptó en la Asamblea Mundial de Radiocomunicaciones que tuvo lugar en Torremolinos en el año 1992.

Además de la UIT, que ha actuado como organismo catalizador, los organismos regionales de estandarización, como el ETSI, ARIB, TTA, TTA y otros, han jugado un papel clave en el desarrollo del estándar IMT-2000. Su función ha sido el trabajar en equipo con la UIT, en el desarrollo de los requisitos específicos regionales dentro de la familia de sistemas IMT-2000 así como el buscar la evolución de los estándares regionales pre IMT- 2000 hacia las capacidades del mismo.

Las iniciativas relativas a normalización y armonización de la 3G se han desarrollado en torno a dos ejes: IMT-2000 y UMTS la norma global en fase de desarrollo de la UIT, ésta contempla tres grupos de velocidades (144 kbps, 384 kbps y 2Mbps) y las bandas de frecuencias de 1885-2025 Mhz y 2170-2200 Mhz, así como 1885-2025 Mhz y 2170-2200 Mhz para satélites.

En Japón, los estándares de tercera generación están siendo desarrollados por ARIB (radio) y TTC (redes). NTT DoCoMo, el mayor operador inalámbrico de Japón está defendiendo la interfaz radio de acceso por división de código de banda ancha WCDMA como norma nacional japonesa.

Al contrario que en Europa y Japón, Estados Unidos ha reservado la banda dúplex inferior del espectro IMT-2000 de la UIT para los operadores PCS de

segunda generación, imposibilitando el uso de los sistemas globales de tercera generación. La adaptación de Estados Unidos de la reserva de frecuencia de GSM, GSM1900, beneficiará la evolución de GSM así como al desarrollo de tecnologías de la segunda generación, actualmente en uso en Estados Unidos: IS136 e IS-95.

UMTS se perfila como el más prometedor de los sistemas de tercera generación proporcionando transmisión de voz y datos de alta velocidad (hasta 2Mbps) rompiendo las barreras entre las telecomunicaciones fijas y móviles y promoviendo la convergencia entre ambas. La introducción de UMTS tendrá lugar gracias a la ejecución de una serie de fases que tendrán lugar entre los años 2000-2002-2005. El objetivo de este acercamiento por fases es reducir el riesgo el costo para los operadores y asegurar la temprana adopción de servicios por parte de los usuarios finales. Las fases hacia el desarrollo de UMTS son las siguientes:

-La extensión de las capacidades de GSM para incluir conmutación de circuitos (HSCSD), de paquetes (GPRS) y operación de datos de alta velocidad (EDGE).

-Fase de Pruebas pre-UMTS, durante la que los prototipos de estaciones base UMTS se probarán tanto en subconjuntos de redes GSM reales como en pruebas aisladas en redes basadas en paquetes.

-Fase de despliegue básico, empezando en el 2002 que incluye la primera incorporación de estaciones base UTRA (acceso radio UMTS) dentro de redes de funcionamiento y el lanzamiento de servicios basados exclusivamente en las capacidades UTRA así como proporcionar servicios de banda estrecha y banda ancha sobre los mismos interfaces UTRA.

-Fase comercial completa, empezando poco después del 2002 y alcanzando su madurez en el 2005, incorpora mejoras en su funcionamiento y capacidad, junto con la introducción de nuevos servicios basados en UMTS.

Por otra parte, mientras llega UMTS se está desarrollando el plan de evolución de GSM (lo que se conoce bajo el nombre generación 2.5), una nueva funcionalidad multimedia que va mas allá de las aplicaciones actuales de transmisión de voz y datos a 9,6 Kbps, con lo que el estándar GSM será capaz de soportar hasta 384Kbps, con movilidad restringida y hasta 115 Kbps con movilidad total. Debido a la creciente demanda de servicios de datos de valor añadido para teléfonos móviles ETSI ha desarrollado nuevas tecnologías de datos sobre redes GSM de segunda generación basadas en conmutación de circuitos (HSCSD) y en conmutación de paquetes (GPRS).

HSCSD (High Speed Circuit- Switched Data) es un desarrollo de circuitos conmutados de alta velocidad que proporcionará mayor velocidad en la transmisión de datos desde el móvil. Utilizando simultáneamente varios intervalos temporales de la portadora se consigue un flujo de datos cercano a los 100 kbps. HSCSD, al utilizar tecnología de conmutación en la red, es adecuado para transferencias de

información a velocidad constante del tipo de transferencias de ficheros y videoconferencias, pero necesita establecimiento de llamada y obliga a la red a mantener el circuito aunque no haya tráfico.

Por otra parte se ha desarrollado el servicio general de paquetes por radio GPRS (General Packet Radio Service). Da soporte al acceso vía radio utilizándole protocolo IP a Internet y en general a redes de conmutación de paquetes como X.25, con una velocidad de hasta 115 kbps usando el mismo subsistema de estaciones base que para los servicios de voz, pero con pasarelas específicas para el encaminamiento de la información GPRS a través de una red de datos.

GPRS es una técnica de conmutación de paquetes que emplea una codificación reducida del canal para alcanzar una velocidad neta de 14,4 Kbps por ranura de tiempo (time slot) consiguiendo un caudal máximo de 115 kbps. Esta técnica está basada en una nueva codificación de los canales de radio, en la asignación de canales de radio solo cuando se envían datos en modo paquete, en la compartición de los canales entre mas de un usuario y en la asignación de canales distintos para transmisión y recepción. Por tanto, GPRS es una técnica adecuada para manejar tráfico a ráfagas, como el que se da en Internet o en redes de área local. Tiene la capacidad para suministrar datos directamente al terminal del usuario. Si éste se encuentra apagado o fuera de cobertura cuando el usuario se presente ante la red, el sistema automáticamente le indica que tiene un mensaje en espera y le remite el texto y las imágenes que contiene. Al ser una técnica de conmutación de paquetes solamente se ocupa ancho de banda cuando se envían datos, lo que permite una utilización más eficiente del espectro al permitir compartir un canal entre distintos usuarios en el proceso conocido como multiplexación estadística.

Partiendo de GPRS y como un paso intermedio hacia los futuros sistemas de banda ancha de tercera generación, se encuentra EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) también llamado GSM384. Introduce nuevos métodos en la capa física, incluyendo un nuevo esquema de modulación (8 PSK) y diferentes formas de codificación de datos para la protección contra errores. El resultado es que EDGE alcanza velocidades de transferencia y datos de hasta 384 Kbps, es decir, 48 Kbps por intervalo temporal de la portada de 200 KHz propia de GSM que ya son adecuadas para el acceso a Internet de alta velocidad e incluso para videoconferencia. La importancia de EDGE radica en el hecho de que en ella podrían converger GSM como el estándar TDMA IS-136. Se estima que los primeros despliegues comerciales de EDGE podrían ocurrir en los años 2001 y 2003.

Se reconoce a EDGE como un estándar 3G que cumple todos los requisitos de las especificaciones IMT-2000 (reunión 8 de UTI-R en diciembre de 1999 en Helsinki)

También se conoce a EDGE como parte de la propuesta de tecnología Universal Wireless Communications (UWC-136), especificada por American National Standards TIA/EIA-136.

Los principales atractivos de la tecnología EDGE para los usuarios son, las bandas anchas, adecuadas para el acceso de alta velocidad al Internet, multimedia y los servicios de datos de estar "siempre conectado".

Para los operadores de redes, lo atractivo de EDGE es que ofrece una forma costo-eficiente para cambiar redes inalámbricas existentes GSM o TDMA a una capacidad 3G para apoyar los nuevos servicios móviles, sin requerir un nuevo espectro de antena de radio.

También aumenta la capacidad total de la red debido a la índole inherente de eficiencia de espectro de transmisión de datos del paquete EDGE. EDGE ofrece hasta tres veces más la capacidad de GSM con GPRS y hasta de siete veces la capacidad de TDMA.

EDGE es un estándar global y se considera como un factor clave en el acceso y convergencia entre redes GSM y TDMA mundiales. Al usar EDGE, los usuarios podrán llevar con ellos todo un conjunto de características de servicio a medida que ellos hacen "roaming" (desplazamientos) entre redes GSM y TDMA en todas las bandas de frecuencia establecidas para ellos.

De acuerdo a un estudio realizado el rango de usuarios 3G podría acceder a 40 millones desde su lanzamiento en 1999 al 2005. Ya que 3G surge como respuesta a los problemas de capacidad y de ancho de banda, según Phoenix-based Micrologic Research 2000 como se muestra en la figura 1.16.

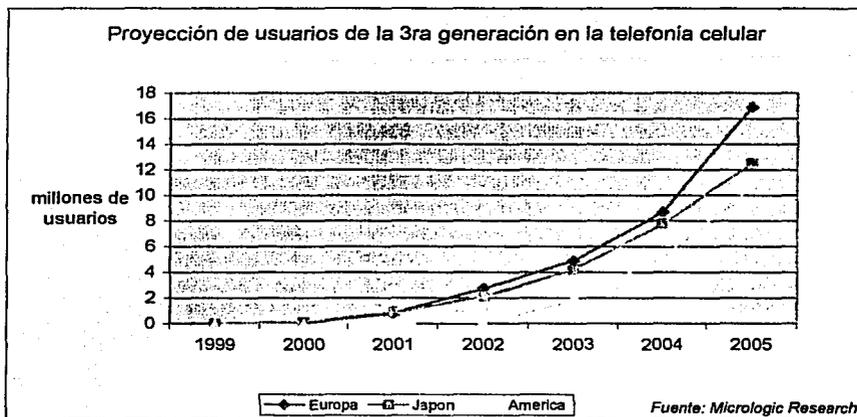


figura 1.16 Proyección de usuarios de la 3ra generación en la telefonía celular proporcionada por Micrologis Research

1.2.1 México

"Las atribuciones del espectro radioeléctrico para usos determinados obedecen principalmente a aspectos técnicos ligados a las características de propagación de señales"¹

"La telefonía celular depende de determinadas frecuencias que brinden las características óptimas de operación, las cuales permitan establecer enlaces a grandes distancias sin requerir línea de vista entre las terminales, menor potencia de transmisión, mayor ancho de banda posible, mejor penetración, cobertura y menor efecto por velocidad de desplazamiento. Entre 1885 y 2200 Mhz se sitúan las bandas que han sido identificadas con mayores ventajas" (Resolución 212, Rev. WRC-97).

Por razones políticas y comerciales los países europeos unificaron criterios en los cuales las bandas de 1710 a 1785 Mhz y de 1805 a 1880Mhz se destinaron a una segunda generación celular, en su mayoría GSM. Por otro lado Norteamérica generó una opción equivalente que denominó PCS (Sistemas Personales de Comunicaciones) de 1850 a 1910 Mhz y de 1930 a 1990 Mhz, ya que el bloque de 1710 a 1850 esta reservado a fines militares.

Debido a la ubicación geográfica, México comparte una larga frontera con Estados Unidos de Norteamérica con acuerdos de reciprocidad y protección de señales radioeléctricas transfronterizas. Como socios comerciales, la necesidad

¹ Citación de las Bandas MMDS1/2 y su relación con la tercera generación móvil IMT2000.

de un mercado común obliga a alinear en lo posible la atribución de frecuencias nacionales con aquéllas de nuestros vecinos.

En México el proceso de atribución y subasta de frecuencias para servicios PCS realizado en 1995, se basa en las mismas bandas asignadas en los Estados Unidos y Canadá, como sucedió de igual manera con las concesiones en 1991 de las frecuencias asignadas a la telefonía celular de 824 a 849 Mhz y de 869 a 894 Mhz.

Algo importante que se tiene que considerar hoy en día, es la disponibilidad de frecuencias para nuevas generaciones incluida la actual 3G, lo cual crea grandes expectativas. Lo legalmente cuestionable y/o costoso que podría ser el despeje de algunas frecuencias asignadas a servicios concesionados, crea incertidumbre en las resoluciones WRC2000 (Com 5/24.25 y 26) en la región 2 en la banda de 1710 y 1885 Mhz y la de 2500 a 2690 Mhz en la cual operan los sistemas MMDS (Microwave Multipoint Distribution Systems). Sin embargo dependiendo de las exigencias del mercado y de las propias regulaciones, la resolución Com 5/25 recomienda evaluar las condiciones de cada país o región con la finalidad de analizar la evolución de la primera y segunda generación hacia la 3G.

Por otro lado, "El 12 de Julio del 2000 la FCC recibe de la Asociación de Industrias de las Telecomunicaciones Celulares (CTTA) el requerimiento para iniciar el procedimiento de identificación de bandas para el desarrollo del IMT2000 en los Estados Unidos, acentuando que un retraso o ignoro podría significar graves consecuencias para los consumidores, fabricante y proveedores de ese país.

En contraparte el documento RM-9920 enviado de WorldCom a la FCC el 28 de Agosto del 2000, manifiesta el rechazo a ceder al proyecto IMT 2000 las frecuencias de 2500 a 2700 Mhz en las que ha invertido recientemente"²

Argumentando que la armonización global no es un requerimiento obligatorio derivado de la CMR2000 de Estambul (en la cual el Secretario de la UIT propone las frecuencias adicionales a las ya atribuidas para IMT 2000), debido a que los costos de despeje son mucho mayores comparados al mercado de viajeros transcontinentales. Indica asimismo que técnicamente resulta mas cara que la fabricación de una terminal multimodo (GSM-TDMA-CDMA) que una multibanda.

Como resultado de la desigualdad de bandas de frecuencias posibles, han surgido diversas propuestas. Una de ellas es la alternativa viable de la FCC que consiste en promover una evolución del PCS hacia la 3G en sus mismas bandas apoyada en las recomendaciones de las resoluciones 223 y 224 de la CMR 2000. Existe otra opción bajo estudio, la cual depende de la liberación de parte

² Toda la documentación que avala estas posiciones se encuentra disponible en el área de ingeniería y tecnología de Cofetel.

de las frecuencias asignadas al sector militar, por lo menos de 40 Mhz de 1710 a 1750 o 1755 Mhz las cuales podrían aparearse con otro bloque similar de 2110 a 2150 Mhz evitando mover los canales de retorno MMDS ya otorgados para sistemas de acceso fijo en banda ancha, y cuya ventaja estaría en tener al menos 40 de los 60 Mhz del bloque de bajada (downlink) alineados con el IMT 2000 europeo.

Otra opción considerada menos viables a corto plazo por la FCC pero igualmente factible, es el despeje de las aplicaciones militares de toda la extensión de la banda de 1710 a 1850 Mhz para dar lugar a dos bloques apareado de 45 Mhz cada uno, de 1710 a 1755 Mhz y de 1805 a 1850 Mhz correspondiendo a la segunda generación europea permitiendo mayor compatibilidad de frecuencias a nivel mundial y facilitando la migración de los sistemas PCS .

En México, el anuncio oficial de la licitación pública de las bandas MMDS1/2, que corresponde a las propuestas para IMT2000 tuvo lugar el 18 de Agosto del 2000, generando algunas reacciones que manifestaban el posible peligro a la introducción de la tercera generación de telefonía móvil debido a la asignación de frecuencias. Contrario a los temores y de acuerdo a la información de la FCC la introducción de la tercera generación 3G se llevará a cabo en las mismas frecuencias celulares y de PCS, involucrando a los miembros de la región ³

³ La UIT reconoce tres regiones, la primera conformada por los países europeos, parte del Medio Oriente y el continente africano, la región 2 el continente americano y la región 3 comprende Asia y Oceanía.

2. Conceptos básicos de la telefonía celular

El diseño de redes de telefonía celular y su posterior optimización requiere del conocimiento de diferentes conceptos básicos que a continuación se presentan con la finalidad de servir de apoyo para los capítulos 3 y 4 en los que se aborda el tema central de este trabajo.

2.1 Propagación.

El rango de espectro electromagnético de las ondas electromagnéticas se extiende desde la frecuencia de 30 kHz (longitud de onda de 10 km) a 300 GHz (longitud de onda de 0.1 cm).

En el espacio libre las ondas de radio se propagan como ondas electromagnéticas. Es decir la energía de las ondas existe en forma de campos eléctricos y magnéticos que varían en forma sinusoidal con el tiempo. Ambos campos existen en forma simultánea debido a que un cambio en el campo eléctrico genera un cambio en el campo magnético y en forma viceversa. Como resultado de esto se tiene un continuo flujo de energía de un campo al otro.

2.1.1 Mecanismos de propagación

Las ondas de radio llegan al móvil receptor de diferentes direcciones con diferentes retrasos, por lo que la señal resultante se obtiene a través de una suma vectorial cuya amplitud es determinada por la cancelación o reforzamiento de las señales.

Existen diferentes mecanismos de propagación con consecuencias diversas sobre la onda electromagnética. A continuación se describen los mas representativos:

Reflexión. La onda que se propaga choca contra un objeto el cual es grande en comparación a la longitud de onda, lo cual origina un cambio en la dirección de propagación. Ejemplos son: la superficie de la tierra, edificios, paredes, etc.

Difracción. El camino entre el transmisor y el receptor se ve obstruido por un objeto cuya superficie es afilada para la longitud de onda lo que provoca que la onda rodee el obstáculo aún sin existir línea de vista.

Dispersión. Los objetos son pequeños en comparación con la longitud de onda de la señal que se propaga. Ejemplo son: hojas, señales de tránsito, lámparas y postes de energía eléctrica.

Dispersión por multipropagación. Es provocado por un rebote múltiple de la señal con objetos cercanos al punto de radiación, por lo que la señal recibida en el móvil esta compuesta por todas las replicas que se forman en la trayectoria, lo cual provoca que la señal fluctúe de manera rápida y se puede caracterizar el canal con una distribución de Rayleigh.

Sombras. Zonas en las que la señal disminuye a causa de un obstáculo de gran tamaño y cercano a la radiobase.

2.1.2 Desvanecimientos (Fading)

Debido a los fenómenos mencionados es que la señal que se radia sufre un desvanecimiento al propagarse, dicho desvanecimiento esta formado por: desvanecimientos largos y desvanecimientos cortos. Los primeros se deben a la atenuación que sufre la señal al propagarse y a los obstáculos mayores los cuales ocasionan sombras. Los segundos se deben a los efectos de multitrayectoria y dispersión en el tiempo de la señal.

Por lo anterior nuestra señal recibida va estar formada por una media, debida a los desvanecimientos largos y otra señal que cambia rápidamente, debida a los desvanecimientos cortos como se muestra en la figura 2.1.

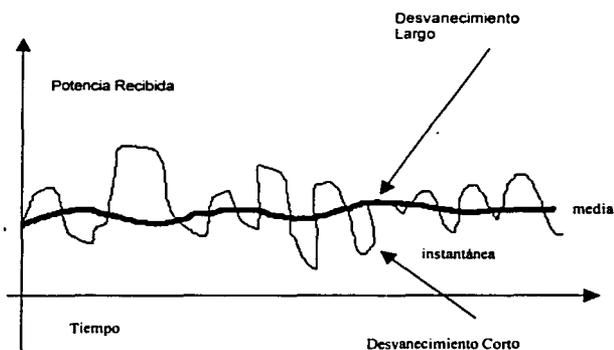


figura 2.1 Desvanecimiento largo y corto

Desvanecimiento de Rayleigh. El comportamiento de este desvanecimiento sigue una distribución de Rayleigh, debido a que la señal que se recibe es causa de una multipropagación por lo que se tiene en el receptor la suma de señales I/Q (en fase y cuadratura).

Desvanecimiento de Rician .Se tiene que el comportamiento de la señal que se recibe depende principalmente de la componente de línea de vista (utilizado principalmente en el modelado de microcélulas).

2.1.3 Modelos de propagación

Dependiendo de su naturaleza, los modelos de propagación se pueden clasificar en: empíricos, determinísticos y semi-empíricos o semi-determinísticos

Los modelos empíricos son descritos por ecuaciones derivadas de análisis estadísticos de gran cantidad de mediciones. Estos métodos no requieren de gran información del ambiente, lo que permite que sean rápidos y fáciles de estimar. Por otra parte no proveen una estimación precisa del patrón de pérdidas (path loss).

Los modelos determinísticos son el resultado de la aplicación de técnicas de electromagnetismo bajo determinadas circunstancias. La descripción del entorno es indispensable por lo que se requiere de bases de datos de obstáculos , altura de edificios y buena información sobre el terreno. La mayor parte de estos modelos se basan en técnicas donde se traza la trayectoria de la señal, utilizando conceptos de la teoría geométrica de la difracción (GTD) y la teoría uniforme de la difracción (UTD) además de leyes físicas.

Los modelos semideterminísticos o semiempíricos se basan en ecuaciones que se derivan de la aplicación de métodos determinísticos, para generar modelos urbanos y de interiores. Las ecuaciones obtenidas se corrigen también de manera experimental para obtener mejores resultados. A pesar de requerir mayor información del entorno de la antena que los modelos empíricos, pueden generar resultados adecuados sin tomar el tiempo de los modelos determinísticos.

Lo anterior muestra que se tiene diferentes formas de modelar dependiendo del ambiente que se desee predecir. Existe una estrecha relación entre estos escenarios y las categorías de células, dividiéndose estas últimas en: macrocélula, microcélula y picocélula

Las macrocélulas ocupan áreas grandes y usualmente la antena se encuentra ubicada por encima de la altura media de las construcciones que la rodean.

Generalmente no existe línea de vista entre el móvil y el transmisor. Una macrocélula tiene un radio mayor 1 km.

Las microcélulas ocupan áreas con un radio entre los 100 m y 1 km, la cobertura se ve influenciada en gran medida por los obstáculos cercanos y generalmente

la antena transmisora se encuentra por debajo o al mismo nivel que la altura media de los edificios y construcciones que la rodean, se presentan dos situaciones entre el receptor y transmisor, uno donde no existe línea de vista entre ellos NLOS (non-line-of-sight) y otro en el que se tiene línea de vista LOS (line-of-sight).

Finalmente una picocélula presenta una cobertura con un radio menor a los 100 metros. Generalmente se localizan en interiores por debajo o a nivel del techo de la construcción. Se presentan también ambos caso NLOS y LOS, pero se analizan por separado.

De lo anterior se concluye que los modelos empíricos resultan adecuados para la predicción de la cobertura de macrocélulas, los modelos semideterminísticos resultan necesarios para la caracterización de microcélulas y picocélulas o para obtener un mayor grado de predicción en macrocélulas. Los modelos determinísticos se utilizan principalmente para la predicción de microcélulas y picocélulas requiriendo como ya se menciona de mayor tiempo de procesamiento y una cantidad mayor de información del ambiente que las rodea.

Modelos empíricos

Existen gran variedad de modelos empíricos algunos como Okumura Hata, COST 231 y Lee los cuales sobresalen por el uso extendido que se les a dado en la industria, además de servir como base para modelos semideterminísticos. A continuación se presenta la descripción de éstos tres para el entendimiento posterior de sus aplicaciones.

Okumura-Hata. Cuando se diseña un sistema de radio, las pérdidas " Path Loss", pueden ser calculadas utilizando un modelo de propagación. Las pérdidas influyen de forma directa en el número de células y su ubicación, por lo que un cálculo adecuado de estas ahorra significativamente tiempo y costo del sistema.

El cálculo de las pérdidas en un ambiente real es muy complejo por lo que se han desarrollado varios modelos de propagación, sus aplicaciones y restricciones. El modelo que aquí se presenta es el de Okumura-Hata, el cual se puede utilizar solamente bajo las condiciones siguientes.

f_c	150 MHz a 1500 MHz
h_{RBS}	30 m a 200 m
h_{MS}	1m a 10 m
D	1 km a 20 km

El modelo de Okumura-Hata utiliza las siguientes ecuaciones que se desarrollaron de forma empírica.

$$PL = A + B \log_{10}(d)$$

$$PL = A + B \log_{10}(d) - C$$

$$PL = A + B \log_{10}(d) - D$$

La primera para un área urbana, la segunda para un área suburbana y la última para un área abierta.

donde A se calcula con la ecuación siguiente

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_{RBS}) - a_{hMS}$$

donde

f_c	Frecuencia de la portadora en MHz
h_{RBS}	Altura en metros de la antena de la estación base.
h_{MS}	Altura en metros de la antena del móvil.
$a_{(hMS)}$	Ganancia dada por la influencia de la altura de la antena del móvil

$a_{(hMS)}$ se calcula de la siguiente forma según el área.

área suburbana y abierta

$$a_{hMS} = [1.1 \log_{10}(f_c) - 0.7] \times h_{MS} - [1.56 \log_{10}(f_c) - 0.8]$$

área urbana

$$a_{hMS} = 3.2 [\log_{10}(11.75 \times h_{MS})]^2 - 4.97$$

El término B se calcula con la ecuación siguiente.

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{RBS})$$

El término C se obtiene con la ecuación siguiente.

$$C = 2 \left[\log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 + 5.4$$

El término D se obtiene con la ecuación siguiente.

$$D = 4.78[\log_{10}(f_c)]^2 - 18.33\log_{10}(f_c) + 40.94$$

COST 231. Este se desarrollo en base al modelo de Okumura-Hata para cubrir el rango de frecuencias de 1500 a 2000 MHz, el Path Loss esta dado por:

$$L_{50}(\text{urban}) = 46.3 + 33.9\log f_c - 13.82\log h_{RBS} - a_{h_{MS}} + (44.9 - 6.55\log h_{RBS})\log d + CM$$

donde

D	Distancia en km
f_c	Frecuencia de la portadora en MHz
h_{RBS}	Altura en metros de la antena de la estación base.
h_{MS}	Altura en metros de la antena del móvil.
CM	3 dB área densa urbana, 0 para cualquier otra.
$a_{(hMS)}$	Ganancia dada por la influencia de la altura de la antena del móvil

$a_{(hMS)}$ se calcula de la siguiente forma según el área.

área suburbana y abierta

$$a_{h_{MS}} = [1.1\log_{10}(f_c) - 0.7] \times h_{MS} - [1.56\log_{10}(f_c) - 0.8]$$

área urbana

$$a_{h_{MS}} = 3.2[\log_{10}(11.75 \times h_{MS})]^2 - 4.97$$

Lee. Es un modelo empírico para macrocélulas urbanas y suburbanas que predice la potencia recibida P_r en dBm de la siguiente forma:

$$P_r = A - B \log d - n \log\left(\frac{f}{900}\right) + 10 \log \alpha$$

donde d es la distancia en kilómetros entre la antena Tx y la Rx y f es la frecuencia de la portadora en MHz. Los parámetros A y B depende de las características del entorno. Estos han sido determinados en diferentes ciudades con diferentes características que pueden utilizarse como modelos.

$$A, B = \begin{cases} 53.9, 38.4; \text{Área suburbana} \\ 62.5, 36.8; \text{Filadelfia} \\ 55.2, 43.1; \text{Newark} \\ 77.8, 30.5; \text{Tokio} \end{cases}$$

El factor n puede tener los siguientes valores

$$n = \begin{cases} 2, & \text{en \u00e1rea suburbana y } f < 450 \text{ MHz} \\ 3, & \text{en \u00e1rea urbana y } f > 450 \text{ MHz} \end{cases}$$

El par\u00e1metro α esta dado por:

$$\alpha = \frac{h_t^2 h_r^m p_t g_t g_r}{3660}$$

donde h_t y h_r son las alturas de las antenas Tx y Rx respectivamente, p_t es la potencia transmitida en watts, g_t y g_r son las ganancias de las antenas Tx y Rx respectivamente, y m depende de la altura de la antena de la siguiente forma:

$$m = \begin{cases} 2, & \text{si } h_r > 10 \text{ m} \\ 1, & \text{si } h_r < 3 \text{ m} \end{cases}$$

Modelos semidetermin\u00edsticos

Los mas representativos son: Ikegami, Walfish-Bertoni y COST 231-Walfish-Ikegami

Ikegami. Este modelo semidetermin\u00edstico es adecuado para ambientes urbanos con una distribuci\u00f3n homog\u00e9nea. Para la derivaci\u00f3n de las ecuaciones se utilizaron t\u00e9cnicas de geometr\u00eda \u00f3ptica (GO) y teor\u00eda geom\u00e9trica de la difracci\u00f3n (GTD) aplic\u00e1ndose a una ciudad ideal con la altura de los edificios de forma uniforme. Se consider\u00f3 una situaci\u00f3n NLOS y solo se consideraron dos trayectorias. El rayo 1 se difracta en el \u00faltimo filo del edificio antes de llegar (dr) y el 2 se refleja en la pared del siguiente edificio (rr), ver figura 2.2

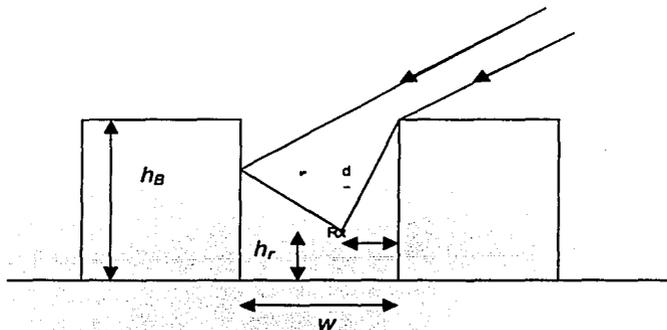


figura 2.2 Aplicaci\u00f3n t\u00e9cnicas de geometr\u00eda \u00f3ptica (GO) y teor\u00eda geom\u00e9trica de la difracci\u00f3n (GTD)

Asumiendo lo anterior se tiene que el path loss en decibeles esta dado por:

$$L = 26.65 + 30 \log f + 20 \log d - 10 \log \left(1 + \frac{3}{l_r^2} \right) - 10 \log w + 20 \log (h_B - h_r) + 10 \log (\sin \phi)$$

donde f es la frecuencia en MHz, d es la distancia entre las antenas transmisora y receptora, w es el ancho de la calle donde se encuentra el receptor, h_B es la altura de los edificios, h_r es la altura de la antena receptora, ϕ es el ángulo de incidencia y l_r es el coeficiente de reflexión en el edificio.

Walfish-Bertoni. Es conocido también como el modelo de "pantallas difractoras". Este modelo determinístico es adecuado para áreas urbanas y suburbanas homogéneas. Las ecuaciones de propagación se derivan de un modelo ideal de ciudad en la cual los edificios están colocados de tal manera que forman filas paralelas con un ancho y altura uniforme. El modelo es valido cuando existe una situación NLOS entre la radiobase y el móvil. En tal situación, el campo que se propaga hacia el móvil sufre múltiples difracciones a su paso por los edificios. Para obtener la señal en el receptor, las filas de edificios se modela como una serie de pantallas difractoras responsables de las perdidas de propagación, siendo la señal que se difracta en la última fila la que alcanza al móvil, además de la señal refractada en la siguiente fila de edificios. Considerando lo anterior el path loss esta dado por:

$$L = 89.55 + 21 \log f + 38 \log d - 18 \log H + A - 18 \log \left(1 - \frac{d^2}{17H} \right)$$

donde f es la frecuencia en MHz, d es la distancia entre el transmisor y receptor en kilómetros, y H es la altura promedio de la antena transmisora sobre los edificios. A modela la influencia de los edificios y esta dada por:

$$A = 5 \log \left[\left(\frac{b^2}{2} + (h_B - h_m)^2 \right) \right] - 9 \log b + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{2(h_B - h_m)}{b} \right] \right\}$$

donde h_B es la altura promedio de los edificios en metros, h_m es la altura del receptor en metros, y b es la distancia entre las filas de edificios, ver figura 2.3. El modelo requiere que la antena transmisora este por encima de la altura promedio de las filas de edificios.



Figura 2.3 Distancia entre edificios para el modelado Walfish-Bertoni

COST 231-Walfish-Ikegami. Este modelo es adecuado para ambientes urbanos, como su nombre lo dice se basa en el modelo de Walfish_Bertoni y el modelo de Ikegami además de contar con algunas correcciones empíricas. No existen restricciones en la posición de la antena transmisora con respecto al nivel del techo de las construcciones.

El Path Loss esta dado por:

$$L = L_0 + L_1 + L_2$$

donde L_0 son las perdidas por espacio libre, L_1 son las perdidas debidas a la ultima difracción por debajo del nivel del techo y L_2 son las perdidas debidas a las múltiples difracciones durante la trayectoria (excepto la ultima), donde:

$$L_0 = 10 \log \left(\frac{(4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2} \right) = K + 20 \log d + 20 \log f$$

$$L_1 = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f = 20 \log(h_r - h_m) + L_{11}(\phi)$$

donde w es el ancho (en metros) de la calle donde se encuentra el receptor, h_r es la altura promedio de los edificios (en metros), h_m es la altura de la antena receptora en metros y

$$L_{11} = \begin{cases} -10 + 0.3571\phi & 0 < \phi < 35 \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35) & 35 \leq \phi < 55 \\ 4 - 0.1114(\phi - 55) & 55 \leq \phi \leq 90 \end{cases}$$

donde ϕ es el ángulo formado por el eje de las calles y la línea que une a la antena transmisora con la receptora. Finalmente el tercer termino esta dado por:

$$L_2 = L_{21} + ka + kd \log d + kf' \log f - 9 \log b$$

donde

$$L_{21} = \begin{cases} -18 \log(1 + h_B - h_R) & h_B \geq h_R \\ 0 & h_B < h_R \end{cases}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_B \geq h_R \\ 54 - 0.8(h_B - h_R) & h_B < h_R \wedge d \geq 0.5 \text{ m} \\ 54 - 0.4d(h_B - h_R) & h_B < h_R \wedge d < 0.5 \text{ m} \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_B \geq h_R \\ 18 - \frac{15(h_B - h_R)}{h_R} & h_B < h_R \end{cases}$$

$$k_f = -4 + k_{f1} \left(\frac{f}{925} - 1 \right)$$

donde h_B es la altura de la antena transmisora, b es la distancia entre los centros de dos filas de edificios adyacentes, y k_{f1} igual a 1.5 en área urbana densa o 0.7 en cualquier otra.

Las ecuaciones anteriores son validas para los siguientes rangos de valores:

$$800 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$$

$$4 \text{ m} \leq h_B \leq 50 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} \leq h_m \leq 3 \text{ m}$$

$$0.02 \text{ km} \leq d \leq 5 \text{ km}$$

Las ecuaciones suponen una situación NLOS para el caso LOS el path loss puede ser calculado de la siguiente forma:

$$L = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f$$

donde d debe ser mayor a 0.02 km.

Como se ha visto hasta el momento existen diferentes tipos de modelos, en el capítulo 4 se menciona que modelo ofrece ventajas y bajo que circunstancias.

2.2 Reuso de frecuencias

Para satisfacer la demanda de tráfico existente en las redes móviles públicas, considerando el limitado número de frecuencias disponibles, deben reutilizarse las frecuencias.

Para ello, la zona de cobertura deseada se subdivide en zonas pequeñas denominadas células. A cada célula se le asigna un conjunto de frecuencias que se ponen a disposición de los usuarios situados dentro de la células. Estas mismas frecuencias se vuelven a utilizar en células suficientemente separadas para minimizar la interferencias mutuas. La distancia de reutilización depende de las características de propagación y la interferencia admisible.

Por definición, los sistemas celulares pertenecen a la clase de sistemas radioeléctricos limitados por interferencia. En estos sistemas, la interferencia múltiple cocanal es una situación normal aunque controlada, y constituye el factor primordial para determinar el área de servicio. En efecto, la calidad del servicio depende de la relación señal deseada/señal interferente global a la entrada del receptor.

Se especifica una característica de calidad denominada relación de protección, R_p , que es el valor mínimo admisible de la relación señal deseada / señal interferente para un funcionamiento adecuado del receptor. El valor de R_p depende del sistema de modulación que se utilice.

Para cuantificar el concepto celular supongamos que tenemos dos células, como se indica en la figura 2.4, ambas con igual radio de cobertura R y cuyas estaciones base A y B están separadas una distancia D .

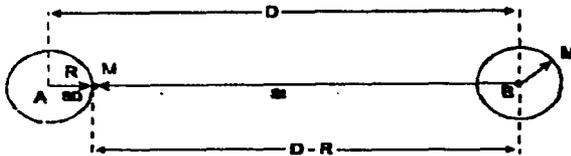


figura 2.4 Distancia de separación entre dos células

Reuso simple de frecuencias

Supóngase un móvil situado en M, borde de la zona de cobertura de la célula A, que recibe servicio desde A. La señal que le llega es la llamada señal deseada (SD). Consideremos que B está enviando señal a otro móvil M' de su células. Parte de esta señal se propaga por el trayecto BM y alcanza el móvil M como señal interferente (SI). Suponemos también que la potencia recibida varía con la distancia según:

$$p = \frac{k}{d^n}$$

Donde d es la distancia, n el exponente de la ley de propagación y k una constante que depende de la potencia transmitida, altura de antenas, frecuencia

y factores de terreno. Admitiremos que hay isotropía en la propagación y que las estaciones A y B son de características similares por lo que k será la misma para las transmisiones de A y las de B se tendrá entonces, para el móvil M.

-Potencia de señal deseada $P_{SD} = \frac{k}{R^n}$

- Potencia de señal interferente $P_{SI} = \frac{k}{(D-R)^n}$

Relación SD/SI (llamada también relación "portadora/ interferencia , c/i ")

$$\frac{c}{i} = \frac{P_{SD}}{P_{SI}} = \left(\frac{D-R}{R} \right)^n = \left(\frac{D}{R} \right)^n$$

De aquí se desprende que si se reduce R también puede disminuirse D sin que se altere la relación C/I y por lo tanto se pueden reutilizar las frecuencias más veces para atender al tráfico ofrecido.

Limitados por el número de frecuencias del espectro celular. Las consideraciones de su uso y reuso deben realizarse cuidadosamente. El beneficio del reuso de frecuencias es permitir conversaciones simultáneas utilizando el máximo número de canales de voz así como de minimizar el posible riesgo de interferencia.

2.3 Agrupamientos

Un sistema celular se basa en la reutilización de las frecuencia, las cuales conforman agrupaciones de 4, 7 o 12 células. La asignación de diferentes series de frecuencias a las células vecinas, con el objeto de mantener una cobertura de radio completa a través del traslape de áreas, requiere usar las mismas frecuencias para diferentes células

Dado un conjunto de frecuencias, como no pueden reutilizarse en células contiguas, deben subdividirse en juegos de frecuencias que se asignan a cierto número de células, constituyéndose así un conjunto básico de células que se denominan agrupación ("cluster"). Se recubre toda la zona de servicio mediante la traslación sistemática de la agrupación, formándose un "enlosado" de células ver figura 2.5.

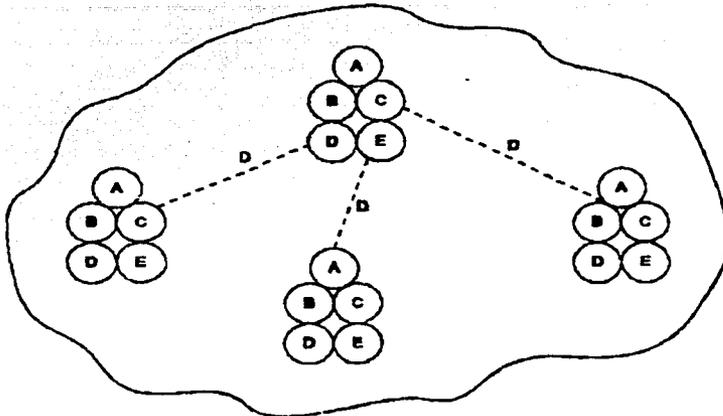


figura 2.5 Agrupación de células

La aplicación de la técnica celular al diseño del interfaz radio de las PLMN, requiere una tarea de planificación que consiste en determinar la forma y el tamaño de la agrupación, el número y la ubicación de las células, radio celular y dimensionamiento de las células, es decir la dotación de radiocanales de las mismas.

2.4 Interferencia.

Interferencia de cocanal (C/I).

La interferencia cocanal es causada por el uso de la misma frecuencia de radio por dos o mas sitios celulares localizados en zonas de servicios inmediatas. La interferencia se detecta tanto en la transmisión como en la recepción, la cual puede ser también causada por múltiples contribuidores del sistema, y cuya relación señal-interferencia no debe ser menor a 17 dB.

La magnitud de C/I afecta el sistema en diferentes maneras. A continuación se presenta una breve comparación de cómo la magnitud de C/I degrada al sistema TDMA diferente de los sistemas analógicos (en este caso AMPS).

Cuando C/I es menor a 14dB, se degrada la calidad de la voz tanto analógica como digital. Conforme decrementa el nivel de C/I una llamada digital se degrada más rápido que una llamada analógica. Sin embargo para valores entre 18dB y 14 dB el sistema digital conserva una calidad de voz superior y casi constante en comparación a los sistemas analógicos.

La interferencia cocanal en un sistema TDMA se manifiesta en un incremento en el Tasa de Error de Bit (BER). Un BER no mayor a 3% proveerá una calidad de voz satisfactoria. Es por eso que par el diseño de las redes TDMA se sugiere un valor de 17dB a 18dB o mejor para C/I en las áreas de servicio.

Interferencia Adyacente (C/A).

Es causada por el uso de frecuencias del canal anterior o siguiente al de la portadora en la que se esta realizando la comunicación, su valor esta dado por:

$$C/A = 10 \log [\text{Portadora} / \text{Canal Adyacente}]$$

El nivel optimo de esta relación estará sujeto a los requerimientos de los equipos de radio.

2.5 Distancia de reuso.

2.5.1 Geometría celular

Mediante los métodos geométricos se trata de estudiar la asignación sistemática de canales a las células según distribuciones lineales de canales.

El estudio teórico de los sistemas celulares trata de atender los siguientes problemas:

- Forma geométrica más conveniente para la célula
- Estructura geométrica de la agrupación
- Análisis de interferencia y determinación de parámetros básicos de la geometría celular en conexión con la asignación de canales.

Para simplificar el estudio, se suponen todos los transmisores de idénticos parámetros (PARA, altura de la antena) y un terreno homogéneo, con las mismas condiciones de propagación en toda la zona de cobertura. Esto induce a esquemas regulares de disposición de canales, basados en células homogéneas del mismo tamaño y forma.

Si en cada célula se utilizan antenas omnidireccionales, la zona de cobertura sería aproximadamente circular. Sin embargo, las coberturas circulares o no cubren el plano o producen traslapes (esto último implica reducción de la eficacia espectral, porque en un mismo punto se emplean dos frecuencias).

En consecuencia, se estudian coberturas de tipo poligonal, que recubran el plano sin traslape. Hay tres polígonos regulares que cumplen esa condición: el triángulos, el cuadrado y el hexágono.

Suponiendo que se coloca la estación de base en el baricentro del polígono y que el radio de cobertura R es la distancia del baricentro a un vértice, las superficies de los polígonos son:

Triángulo: $S = 3\sqrt{3}R^2 / 4$

Cuadrado: $S = 2R^2$

Hexágono: $S = 3\sqrt{3}R^2 / 2$

En consecuencia, para un radio de cobertura fijo R, que es un parámetro del sistema, el hexágono es el polígono regular que proporciona la mayor superficie de células S_c , por lo que, utilizando hexágonos, será mínimo el número de células necesario para la cobertura de un área dada S. Por este motivo, los estudios teóricos y de planificación de los sistemas celulares se basan en células de forma hexagonal.

Para la ubicación sistemática de las estaciones base, se emplea un sistema de coordenadas oblicuas con un ángulo de 60° . Las estaciones de base se sitúan en puntos llamados nodos, cuyas coordenadas en este sistema son números enteros.

En la figura 2.6 Se representa una retícula de planificación y una célula en el origen de coordenadas.

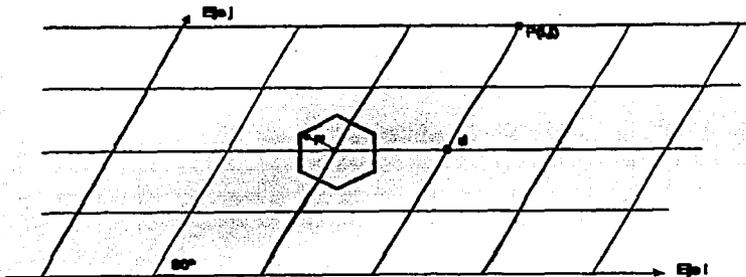


figura 2.6 Reticula de planeación celular

2.5.2 Reticula de planificación celular (grid)

Los lados del hexágono son perpendiculares a los ejes y la apotema es igual a la mitad de la distancia d entre nodos consecutivos, que se llama "paso" de la retícula. La relación entre el paso de la retícula y el radio celular es:

$$d = R\sqrt{3}$$

La distancia al origen desde un punto arbitrario de coordenadas (i,j) es:

$$D^2(i, j) = d^2(i^2 + j^2 + i * j)$$

Consideramos una célula de referencia, situada en el origen de coordenadas. Sean (i_c, j_c) las coordenadas del nodo centro de la célula cocanal, en la que se utilizan los mismos canales que en la célula de referencia. La distancia entre este nodo y el origen, se llama distancia de reutilización y esta dada por la siguiente ecuación

$$D^2(i, j) = d^2(i_c^2 + j_c^2 + i_c * j_c)$$

En consecuencia, sólo los valores de D tales que:

$$\left(\frac{D}{d}\right)^2 = i_c^2 + j_c^2 + i_c * j_c = J \text{ (entero, con } i_c, j_c \text{ enteros)}$$

Pueden ser distancias de reutilización. A los números enteros J , obtenidos dando valores enteros a i_c y j_c en la anterior, se les llama "números rómbicos", ya que de las dos ecuaciones anteriores resulta:

$$J = i_c^2 + j_c^2 + i_c * j_c = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R}\right)^2$$

Y la disposición elemental de transmisores obtenida con la relación anterior forma un rombo, denominado rombo cocanal. Este rombo encierra un conjunto de estaciones base igual a J y genera por traslación la distribución repetitiva de estaciones en el plano.

En la figura 2.7 se representa un rombo que comprende 7 células. Este conjunto de células trasladadas, como se indica en los rombos de lados de trazos va rellenando la cobertura.

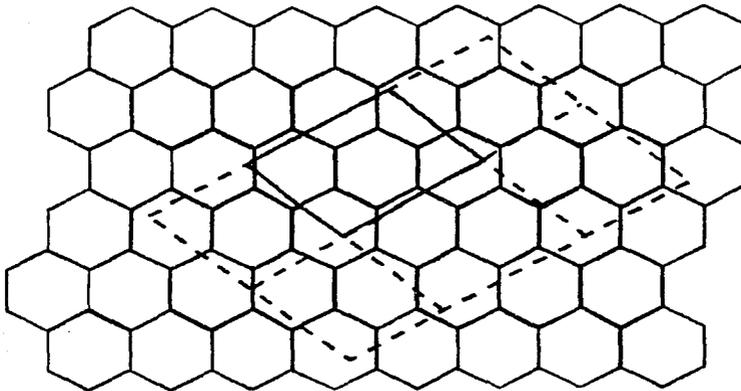


figura 2.7 Cobertura rómbica

Agrupación de 7 células

El conjunto de células encerradas por el rombo cocanal constituye una agrupación. En efecto, el área del rombo es:

$$S_r = \frac{D^2 \sqrt{3}}{2}$$

El área de cobertura de cada estación base es (área de la célula):

$$S_c = \frac{3R^2 \sqrt{3}}{2}$$

Por consiguiente, cada rombo equivaldrá en cobertura a:

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

estaciones base, luego J es el tamaño de la agrupación. Si el área de cobertura total es S, el número de agrupaciones será:

$$Q = E \left(\frac{2S}{D^2 \sqrt{3}} \right) + 1 = E \left(\frac{S}{JS_c} \right) + 1$$

Con $S_c = 2.6 R^2$. El número total de canales disponibles para el sistema es $Q * C$.

En esta configuración geométrica cada célula está rodeada de 6 células cocanal a la distancia D.

Si definimos la relación señal/interferencia total como el cociente entre la potencia de señal deseada en el borde de la célula de referencia y la suma de las potencias de las señales interferentes en el centro de la célula de referencia, se tiene:

$$\left(\frac{c}{i} \right)_{tot} \approx \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} \right)^n$$

Sustituyendo D/R por su valor en función de la cobertura de un rombo y despejando J, resulta:

$$J = \frac{1}{3} \left[6 * \left(\frac{c}{i} \right)_{tot} \right]^{2/n}$$

Como ha de cumplirse que la relación $(c/i)_{tot}$ sea mayor o igual que la Relación de Protección r_p se tendrá:

$$J \geq \frac{1}{3} (6 * r_p)^{2/n}$$

La ecuación anterior proporciona el límite inferior de J, en función de la relación de protección.

Para una relación de protección r_p determinada, este límite es muy simple a la ley de propagación de la señal (exponente n). En la tabla 2.1 se dan valores para $R_p = 17$ dB ($r_p = 50,1$)

Valores del tamaño de la agrupación

N	J
2	101
3	15
3,5	9
3,75	7
4	6

Tabla 2.1

Por otro lado, si J aumenta será menos probable la interferencia cocanal, pero se dispondrá de menos canales por celda (recordando que $N = C/J$), por lo cual también hay un máximo para J.

Sin embargo, la evaluación de la interferencia en el centro de la célula parece poco realista. ya que entorno al centro los niveles de señal deseada serán elevados. Además, se han calculado las potencias de señal y de interferencia en puntos distintos.

Si se calculan las potencias de la señal deseada y de las señales interferentes en un vértice de la célula, suponiendo que, aproximadamente, la distancia de dicho vértice a las fuentes interferentes es D-R, se tiene:

$$\left(\frac{c}{i} \right)_{tot} = \frac{1}{6} \left(\frac{D-R}{R} \right)^n$$

Introduciendo la relación de protección, resulta:

$$J \geq \frac{1}{3} * [1 + (6r_p)^{1/n}]^2$$

La agrupación de 12 células fue la primera utilizada en los sistemas de telefonía móvil celular con las células omnidireccionales.

Es importante resaltar que la "retícula básica" es un instrumento teórico de diseño. El grado en que las ubicaciones reales difieran de las teóricas depende del tipo, medio y clase de cobertura deseada.

Aunque en esta estructura sirva de base para la planificación, en la práctica habrá casos fuera de una célula teórica pueda usar frecuencia de otra. Serán las condiciones de propagación y potencia las que determinen en cada caso el tamaño de la célula. Así pues, la "forma real" de las células no es estática, sino dinámica, la define el propio receptor que se engancha a una u otra estación de base. En consecuencia, se define la "célula práctica" asociada a una estación base (BS) como la zona dentro de la cual es más probable elegir esa BS que cualquier otra.

2.5.3 Sectorización

La cobertura omnidireccional, con una BS situada en el centro requiere altos tamaños de la agrupación, poco conveniente desde el punto de vista del rendimiento espectral.

Si en vez de utilizar antenas omnidireccionales se emplean antenas directivas, puede reducirse el número de fuentes interferentes ya que debido a la directividad de las antenas, el efecto de algunas de esas fuentes será despreciable.

En consecuencia, puede cumplirse el objetivo de relación de protección con un agrupación más pequeña.

La superficie cubierta por una antena directiva suele llamarse sector, por lo que la cobertura correspondiente se denomina cobertura sectorizada.

La sectorización se realiza mediante la subdivisión de la célula original omnidireccional en tres o seis sectores, a los que se da cobertura desde vértices alternos del hexágono empleando tres estaciones de base.

En la figura 2.8 se representa una célula sectorizada con 3 sectores perteneciente a una agrupación de 7 células.

Las estaciones de base BS1, BS2 y BS3 cubren sectores hexagonales con los juegos de frecuencias F1, F2 y F3.

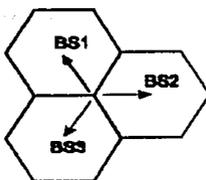


figura 2.8 Cobertura en sectores hexagonales

Sectorización celular

Esta disposición tiene la ventaja de que, desde dichos emplazamientos pueden recubrirse sectores de células vecinas lo cual supone una economía de ubicación importante por los ahorros de infraestructura.

En la figura 2.9 se muestra un plan celular para una agrupación sectorizada de J-7 células. Las flechas indican las direcciones de máxima radiación de las antenas.

Plan celular con sectorización

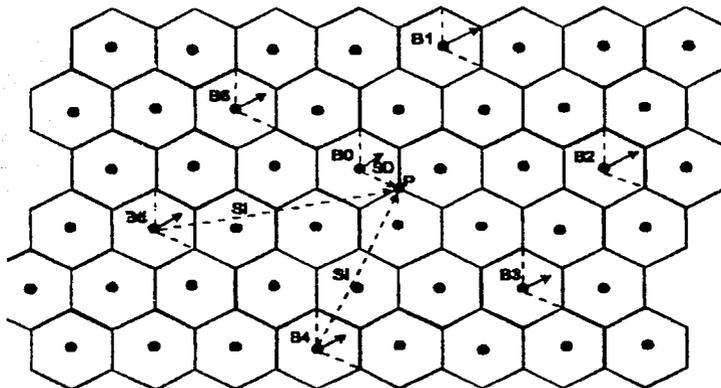


figura 2.9 Sectorización

Considerando la agrupación de sectores con directividad noreste por ejemplo, y el punto P situado en el borde de la célula de referencia se observa que las flechas que actúan sobre P son las B4 y B5 situadas a las siguientes distancias

$$\sqrt{28R} \text{ y } \sqrt{19R}$$

de P , respectivamente, siendo R el radio celular. La relación portadora/interferencia total, será, entonces:

$$\left(\frac{c}{i}\right)_{total} = \frac{(k/R)^n}{(k/\sqrt{28R})^n + (k/\sqrt{19R})^n}$$

Con 7 células trisectorizadas, las frecuencias disponibles para la agrupación han de dividirse por 21 con lo cual disminuye algo el rendimiento de utilización de las frecuencias. Se compensa esta disminución con el mayor índice de reutilización que puede conseguirse en las redes sectorizadas al disminuir el número de fuentes interferentes.

En la división celular puede concebirse, inicialmente, un sistema celular con pocas células de gran tamaño. Sin embargo, pronto se alcanza la saturación de tráfico en algunas células, por ejemplo las situadas en núcleos urbanos, por lo que es necesario efectuar la división de una célula grande en otras de tamaño más reducido. Cada fase de la división celular, que se suele hacer por mitades, tiene como consecuencias:

- Reducción a la mitad del radio de la célula
- División por cuatro de la superficie de la célula
- Incremento de la capacidad de tráfico en un factor aproximadamente igual a cuatro
- Exigencia de mayor precisión en las ubicaciones de las estaciones de base
- Aumento de la probabilidad de tránsito entre células durante una llamada, lo que supone una mayor carga de señalización.
- Aumento de los costos, al ser necesarias más estaciones de base.

La evolución hacia las células más pequeñas es gradual, aplicándose el concepto de "recubrimiento", que consiste en ir añadiendo células dentro de la zona de servicio requerida. Estas células de traslape pueden irse introduciendo una a una cuando se requiera y la densidad de usuarios lo haga rentable. En consecuencia, la división celular no suele ser homogénea, como tampoco lo es la densidad de tráfico. En el caso de una amplia cobertura territorial que comprenda un núcleo urbano, en el centro de éste la densidad de tráfico será máxima e irá decreciendo hacia las afueras, por lo que la pauta de tamaños de células seguirá una tendencia similar, como puede verse en la figura 2.10

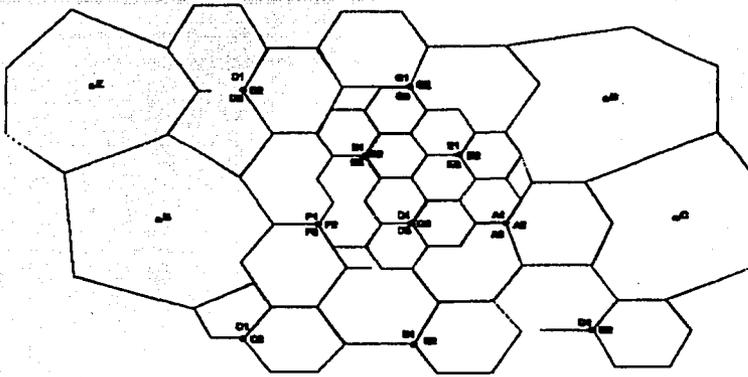


figura 2.10 Cobertura con células de diferentes tamaño

Cobertura amplia con células de diferente tamaño

Una característica típica de los sistemas celulares es la coexistencia de células de diferentes tamaños. El proceso de subdivisión tiene un límite fijado por la tolerancia de los emplazamientos y la complejidad y carga del procesamiento de las llamadas, que suelen corresponder a un radio celular de 1 km aproximadamente. No obstante, los nuevos sistema TMA celular digital contempla células de unos 0,3 km. de radio y geometría "lineal" para dar servicio en calles con equipos de poca potencia, constituyéndose así las llamadas microcélulas. En los sistemas de comunicaciones inalámbricas en interiores, se habla de "picocélulas", que son células con unos radios de cobertura del orden de los 30 m. o inferiores.

2.6 Trasferencia de llamada

"Soft Handoff". Ocurre cuando la comunicación de una terminal móvil pasa de un radio a otro radio designado sin interrupción . En el soft handoff el móvil se comunica con dos radios simultáneamente, con una multirayectoria de las señales desde los radios al móvil. Este solo se da en redes cuyo acceso se realiza utilizando CDMA principalmente.

"Hard Handoff". Ocurre cuando la comunicación de una terminal móvil se realiza entre dos sistemas de radio, diferentes frecuencias o diferentes interfaces de aire o tecnologías

2.7 Roaming

La palabra roaming describe el acto de un usuario móvil pueda moverse de un área de servicio a otra mientras utiliza el servicio. El servicio a los usuarios móviles visitantes puede ser brindado automáticamente completo o con asistencia de operadora: roaming automático y roaming manual.

Cuando el roaming es usado en la red, los MSC's proveerán de servicio del visitante a cada uno de los otros usuarios y son llamados MSC's cooperantes. En caso de roaming automático, la transferencia de información entre MSC's es llamada señalización de roaming la cual entra en acción empleando la señalización por canal común CCITT No.7.

Se consideran usuarios propios aquellos que están conectados en datos al MSC (MSC-H) que les provee servicio y los usuarios localizados en el área de servicio de un MSC (MSC-V) cooperante son usuarios roaming (roamers-vagabundos).

Para el enrutamiento de llamadas (en la red celular y algunas veces con la red pública para un usuario roaming, se emplea un número dinámico (asignado durante su presencia) así como una serie de números temporales en el MSC como series de números internos. Las llamadas de los visitantes se manejan en las misma forma que las llamadas de los usuarios residentes.

2.8 Trafico

La capacidad de un sistema celular depende de varios factores, sin embargo el factor clave es el número de canales disponibles para voz y datos.

El tráfico por usuario se define por frecuencia de llamadas y la duración promedio de una llamada.

2.8.1 Poisson, Erlang B y C

Tres fórmulas principales de bloqueo, Poisson, Erlang B y Erlang C difieren en los supuestos básicos con respecto al comportamiento de las llamadas que no logran tener acceso a un canal de voz libre.

Poisson: Las llamadas bloqueadas esperan un tiempo indefinido para obtener un canal.

Erlang B: Llamadas bloqueadas que no desean esperar y abandonan el intento de llamada inmediatamente. El usuario no realiza otro intento de llamada.

Erlang C: Las llamadas bloqueadas no esperarán más que su tiempo promedio de ocupación. Si un canal llegara a estar libre antes de que termine el tiempo de ocupación, la llamada lo tomará y lo usará para la parte restante o la duración de su tiempo de ocupación.

Una práctica común en la industria celular es suponer una pérdida del sistema, es decir, todas las llamadas bloqueadas son borradas al calcular el número de canales requeridos por célula en un sistema.

Por lo tanto la fórmula de bloqueo Erlang B se adopta como norma. Donde los parámetros son definidos como:

Tiempo promedio de conversaciónT segundos
Número de llamadas por hora y usuarion

El producto $n * T$ especifica el tiempo por hora que un usuario promedio utiliza el sistema. Como el tráfico puede variar con la hora, la red celular está dimensionada para la hora más ocupada, la llamada hora pico.

Fórmula de Bloqueo Erlang B : $A = n * T/3600$

A expresar el tráfico ofrecido por uno o varios usuarios en un sistema, el tráfico es medido en Erlang (en honor a un teórico Danés).

Una especificación típica de un cliente puede aparecer así:

Tiempo de conversación promedio:120 segundos

Número de llamadas por usuario en hora pico.....1

Número de usuarios.....1000

Muchas veces se cotiza también la distribución de tráfico, el tráfico que va hacia y viene de los usuarios móviles respectivamente que puede cargar al sistema de manera diferente:

Tráfico de fijo a móvil: 15%

Tráfico de móvil a fijo: 75%

Tráfico de móvil a móvil: 10%

A partir de la especificación anterior, el tráfico por usuario se calcula:

$$A = 33 \text{ m Erlang}$$

Para 1000 usuarios el tráfico es entonces de 33 Erlang. Esta es la cifra básica para el cálculo del número de canales requerido en una red celular

2.8.2 Grado de servicio

Si un usuario lleva tráfico de 33 mErlang, cargaría un canal de radio durante el 3.3% de su tiempo conforme a la definición anterior 30 usuarios, cada uno con un tráfico ofrecido de 33 mErlang, cargaría al canal el 100% de su tiempo, es decir, la congestión sería inaceptablemente alta.

Para reducir la congestión, el canal debe ser cargado con menos tráfico. Al calcular el número adecuado de canales en base a la cantidad de tráfico ofrecido, se deberá especificar el nivel aceptable de congestión.

En la especificación del cliente, generalmente se define el grado aceptable de servicio (GOS) en 2-5% típicamente. Esta cifra define la probabilidad aceptable de congestión del sistema. El grado de servicio es un término generalmente aceptado y de alguna manera malinterpretado como si un alto grado de servicio significara una mayor probabilidad de congestión.

Capacidad de tráfico de una troncal.

Consideremos una troncal de 33 canales, es decir 33 canales de cooperación equivalentes. Un usuario móvil puede usar cualesquiera de estos canales que estén libres en el momento. Supongamos 1000 móviles, cada uno ofreciendo un tráfico de 33 mErlang. Estos cargarían entonces los 33 canales al 100%. La pregunta es, qué cantidad de tráfico pueden llevar los canales si especificamos el grado de servicio en un 2%, por ejemplo, se requiere hacer uso de la tabla Erlang.

Esta tabla especifica el número diferente de canales (n) y el grado de servicio (probabilidad de pérdida (E)), el tráfico posible en Erlang, conforme a la tabla $n = 33$, $E = 0.02$ existe una capacidad de tráfico de 24.6 Erlang, es decir, se puede dar servicio a aproximadamente 745 usuarios móviles ofreciendo cada uno 33 mErlang.

Eficiencia de troncales.

En el ejemplo anterior, la capacidad en la troncal es de 24.6 Erlang. Para poder calcular el uso del canal, el valor se reduce en un 2%, que es el grado de servicio. El cálculo nos da 24.133 Erlang. Dividiendo el valor entre el número de canales en la troncal y el cociente será el uso del canal. Si se tienen 33 canales, el uso del canal será $24.133/33 = 73\%$, es decir cada canal se utiliza aproximadamente 73% de su tiempo.

Resulta interesante estudiar la eficiencia de canal para los diferentes tamaños de troncales. Las troncales con 5, 10, 20, 30, 40 y 50 canales se comparan en la tabla 2.2 a continuación:

Número de canales	Tráfico, Erlang al 2% de congestión	Uso de canal
5	1.66	0.33
10	5.88	0.50
20	13.20	0.65
30	21.90	0.72
40	31.00	0.76
50	40.30	0.79

Tabla 2.2

Para una troncal de 50 canales, el uso de canal es 2.5 veces mejor que para una troncal de 5 canales.

Una troncal más grande tiene una mayor eficiencia de troncales.

2.8.3 Dimensionamiento de un sistema celular

Los sistemas de telefonía móvil celular se dimensionan como sistemas de llamadas perdidas. Es decir, si una célula dispone de N radiocanales y están todos ocupados una nueva tentativa de llamada se perderá. En los sistemas PAMR troncales estas llamadas se ponen en una cola de espera. La diferencia radica en el tratamiento de llamadas: en telefonía celular se pierden y en los sistemas troncales esperan.

Por consiguiente, los sistemas celulares se dimensionan utilizando la distribución Erlang B, que proporciona la probabilidad de pérdida de congestión o bloqueo p_b en función del tráfico ofrecido A (Erlangs) y del número de radiocanales N .

$$p_b = B(N, A)$$

$$B(N, A) = \frac{A^N / N!}{\sum_{k=0}^N A^k / k!}$$

En la tabla 2.3 se proporcionan valores de A , en función de N para las probabilidades de bloqueo utilizadas con más frecuencia.

N	1,0%	1,5%	2%	3%	5%
1	0,0101	0,152	0,0204	0,0309	0,0526
2	0,153	0,190	0,223	0,282	0,381
3	0,455	0,535	0,602	0,715	0,899
4	0,869	0,992	1,09	1,26	1,52
5	1,36	1,52	1,66	1,88	2,22
6	1,91	2,11	2,28	2,54	2,96
7	2,50	2,74	2,94	3,25	3,74
8	3,13	3,40	3,63	3,99	4,54
9	3,78	4,09	4,34	4,75	5,37
10	4,46	4,81	5,08	5,53	6,22
11	5,16	5,54	5,84	6,33	7,08
12	5,88	6,29	6,61	7,14	7,95
13	6,61	7,05	7,40	7,97	8,83
14	7,35	7,82	8,20	8,80	9,73
15	8,11	8,61	9,01	9,65	10,6
16	8,88	9,41	9,83	10,5	11,5
17	9,65	10,2	10,7	11,4	12,5
18	10,4	11,0	11,5	12,2	13,4
19	11,2	11,8	12,3	13,1	14,3
20	12,0	12,7	13,2	14,0	15,2
21	12,8	13,5	14,0	14,9	16,2
22	13,7	14,3	14,9	15,8	17,1
23	14,5	15,2	15,8	16,7	18,1
24	15,3	16,0	16,6	17,6	19,0
25	16,1	16,9	17,5	18,5	20,0
26	17,0	17,8	18,4	19,4	20,9
27	17,8	18,6	19,3	20,3	21,9
28	18,6	19,5	20,2	21,2	22,9
29	19,5	20,4	21,0	22,1	23,8
30	20,3	21,2	21,9	23,1	24,8

tabla 2.3

Función Erlang B $p_b = B(N,A)$

Conviene advertir que una tentativa de llamada puede frustrarse por congestión de tráfico en la célula o porque el móvil esté situado en una zona de sombra radioeléctrica, por lo que la probabilidad de que se pierda una llamada será:

$$P = 1 - (1 - p_b) * (1 - p_c)$$

Donde p_b es la probabilidad de congestión dada por la ecuación de función Erlang B y p_c la probabilidad de cobertura, que es un objetivo de calidad del sistema. Por ejemplo, si se especifica $p=0,1$ (10%) y $p_c = 0,05$ (95% de

cobertura), resulta $p_b = 0,053$ (5,3%). Esto sentado, manejaremos en lo que sigue como parámetro de diseño p_b .

Supongamos que se dispone de C radiocanales. Si la agrupación tiene J células, el número de radiocanales por célula será:

$$N = C / J$$

Partiendo de la especificación de p y p_c se obtiene p_b de

$$p_b = 1 - \left[\frac{1-p}{1-p_c} \right]$$

La intensidad de tráfico en la célula se determina mediante la función Erlang-B inversa:

$$A = B^{-1}(N - 1, p_b)$$

Donde se ha supuesto que se reserva 1 radiocanal para señalización, quedando $N-1$ disponible para tráfico.

Sea a la intensidad de tráfico por móvil:

$$a = H / 3600$$

siendo H la duración media de una llamada.

El número de móviles en la célula será:

$$m = \frac{A}{a}$$

En ocasiones, se prefiere dar la densidad de tráfico admisible en la célula:

$$p_a = \frac{A}{S_c} \text{ (Erlang / km}^2\text{)}$$

donde S_c es la superficie de la célula en km^2 .

La superficie de una agrupación será:

$$S_r = J * S_c$$

Si el área total de cobertura es S , el número de agrupaciones del sistema Q deberá ser:

$$Q = E[S / S_r] + 1 \approx \frac{S}{J * S_c}$$

donde E indica parte entera. Como en cada agrupación se utilizan todas las frecuencias disponibles, Q representa también el número de veces que se reutilizan las frecuencias se denomina índice de reutilización. Por consiguiente, la oferta total de canales de tráfico en la zona de cobertura es:

$$Q * J * (N-1) \approx \frac{S}{J * S_c}$$

de donde se desprende que podemos hacerla tan grande como se desee, disminuyendo la superficie de la célula S_c o reduciendo J. Ahora bien, J está acotado inferiormente por la relación de protección R_p , por lo que una vez optimizado J, solo es posible el aumento del número de canales por reducción de S_c . El número total de móviles a que puede darse servicio es:

$$M = Q * J * m$$

Para el cálculo del número necesario de canales para que una célula lleve el tráfico ofrecido de 33 Erlang. El grado de servicio durante la hora no pico excederá el 2%. Con 43 canales es suficiente.

Ahora bien, si el requerimiento de cobertura es de 5 células. En total, éstas deben manejar tráfico de 1000 usuarios móviles que ofrece el sistema de 33 Erlang. El grado de servicio aceptable es del 2%. Se requiere dividir el tráfico total entre las células.

Supongamos la distribución de la tabla 2.4:

Célula	% de tráfico	Tráfico en Erlang	No. de canales
A	40	13.20	20
B	25	8.25	14
C	15	4.95	10
D	10	3.3	8
E	10	3.3	8
5	100	33.00	60

Tabla 2.4

2.9 Eficiencia probabilística del área de cobertura (CAP)

Uno de los puntos importantes a definir en la planeación de sistemas inalámbricos es la eficacia del área de cobertura.

Existen dos criterios, uno basado en la probabilidad dentro del área de cobertura (CAP) y otro basado en la probabilidad en el borde de ésta, sin embargo, existe una relación entre ellas con base en el teorema de Jakes y familia de curvas de Reudink el cual concluye que para una probabilidad x dada en el borde de un área, existe una probabilidad $y(x)$ dentro de la misma.

Una vez que se ha definido la probabilidad de eficacia en el área de cobertura se debe de obtener la desviación estándar de la señal (s) así como la constante de decaimiento (n) del ambiente en el que se encuentra la cobertura.

2.9.1 Desviación estándar de la señal

Comúnmente se utiliza una distribución de Rayleigh para describir la variación en el tiempo de la envolvente de la señal recibida en un sistema de radio móvil, la σ de la distribución tiene un valor dependiendo del ambiente (urbano, suburbano, etc.) y lugar de servicio (exterior, móvil o interior).

Al existir una σ_e para el ambiente exterior y otra para el interior se debe de obtener un solo valor de σ_i , dado por la expresión:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_i^2}$$

donde la desviación estándar de la señal a analizar esta dada por la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de cada lugar, ver tabla 2.4.

Ambiente o lugar	Rango de valores (dB)	Valor típico (dB)
Exterior area abierta	4-6	5
Exterior suburbano	6.1-8.0	8
Exterior urbano	8.0-10	8
Exterior urbano denso	10-12	10
Interior	7.1-10	8
Móvil	3-5	3

Tabla 2.4

Es importante recordar que la desviación estándar que se presenta es para desvanecimientos de duración corta por lo que nuestra señal recibida estará dada por los desvanecimientos cortos y el desvanecimiento de la pérdida por propagación (desvanecimientos largos).

Recordar que los desvanecimientos cortos se deben principalmente a objetos hechos por el hombre, como son edificios, puentes, construcciones diversas, etc. y los desvanecimientos largos se deben principalmente a la naturaleza del terreno.

2.9.2 Constante de decaimiento

Se parte de la relación de la potencia del campo electromagnético en función de la distancia es inversamente proporcional al cuadrado de ésta.

$$P_r \propto \frac{1}{d^2}$$

Esta relación es válida siempre y cuando nuestra señal se propague en espacio libre o línea de vista, ya que según el ambiente en el que se propague la señal, la constante de decaimiento aumenta, generando un modelo en el que la señal

recibida ya no es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia sino que sigue otra curva que decae con mayor velocidad al aumentar la distancia.

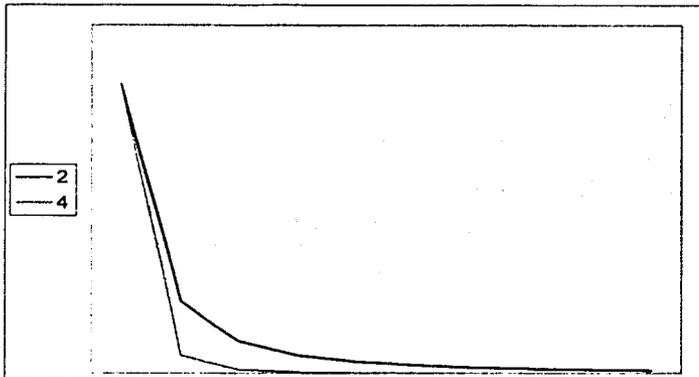


figura 2.11 Constante de decaimiento

La gráfica de la figura 2.11 muestra las curvas de $n = 2$ y $n = 4$ donde se puede ver como decae de manera mas rápida la curva con $n = 4$.

Es por esto que se tienen los siguientes valores típicos en la tabla 2.5 para la constante de decaimiento, dependiendo del ambiente en el que se esté.

Ambiente	Valor de la constante de decaimiento (n)
área abierta	2-2.6
suburbano	2.6-3.4
urbano, densamente urbano	3.4-5

Tabla 2.5

De lo anterior se tiene la relación σ/v con la cual podemos obtener el margen de desvanecimiento, punto al que queremos llegar, ya que éste nos sirve para el cálculo adecuado del enlace (Link Budget), pues consideramos no sólo las pérdidas por propagación y transmisión, sino las pérdidas de señal por desvanecimientos.

2.10 Presupuesto del enlace (Link Budget)

Me permitiré el uso del termino en ingles Link Budget para referirme al calculo del enlace de radio ya que su utilización esta muy difundida en la industria.

El cálculo adecuado del Link Budget nos permite la implementación de sistemas balanceados donde la cobertura de señal transmitida al móvil y la transmitida a la radiobase permiten una comunicación bidireccional.

En el cálculo del Link Budget intervienen las pérdidas y ganancias de la trayectoria de la señal.

En la siguiente tabla 2.6 se muestra como ejemplo el cálculo del enlace descendente (downlink) y ascendente (uplink)

Link Budget	Down-link	Up-link
Potencia al puerto de la antena (dBm)	38	28
Ganancia de antena del móvil (dBd)	0	0
Pérdidas(jumpers, conectores) (dB)	-2.935	-2.935
Ganancia de antena de la base (dBd)	15	15
Pérdidas por penetración (automóvil) (dB)	-10	-10
Ganancia por TMA	0	0
Ganancia por diversidad	0	0
Pérdidas por penetración (construcción) (dB)	-20	-20
Pérdida de cuerpo (dB)	-3	-3
Margen de desvanecimiento. (dB)	-8.8	-8.8
Sensitividad del RX (dBm)	-103	-113
Path loss (máximo)	121.265	121.265

Tabla 2.6

Potencia al puerto de la antena. Ésta varía según el tipo de radiobase y unidad portátil que se tenga.

Ganancia de antena del Móvil. Ésta depende del tipo de antena del móvil.
 Pérdidas (conectores, feeder, jumpers). Depende del número de conectores, longitud y tipo de feeder.

Dada por:

$$P_f = (N_c \times P_c) + \left(\frac{L_f}{100} \times P_{f/100}\right)$$

donde

- N_c número de conexiones (jumper-feeder)
- P_c pérdidas por conexión (jumper-feeder)
- L_f longitud de feeder (contenedor-antenas)
- $P_{f/100}$ pérdidas del feeder utilizado, en dB por cada 100 metros dado por el fabricante.

Nota: Para P_c se considera un valor típico de 0.5 dB, en el ejemplo se tienen dos conexiones (jumper-feeder), una longitud de feeder de 45 metros y un valor de 4.3 dB para $P_{f/100}$

Ganancia de antena de la base. Depende de la antena instalada en la radiobase, se debe de tener el mismo valor para transmisión que para recepción, por lo que se considera el mismo valor en uplink que en downlink.

Pérdidas por penetración de automóvil. Pérdidas que se sufren al estar recibiendo y transmitiendo en el interior de un vehículo. Se sugiere un valor típico de 10 dB.

Ganancia por TMA. Dada por un amplificador de bajo ruido instalado en la torre lo mas cercano a las antenas. Se recomienda su uso para compensar pérdidas del feeder cuando no es posible de otra forma realizar el balance entre el uplink y downlink y sólo para el caso de recepción. Su uso indebido ocasiona problemas de intermodulación.

Ganancia por diversidad. Sólo para el caso de recepción en la RBS y puede variar entre 3-9 dB, muchas veces está ganancia ya se considera en la sensibilidad de la RBS, como en la tabla que se mostró. Más adelante se presenta un estudio comparativo entre la diversidad por espacio y la diversidad por polarización.

Pérdidas por penetración (construcción). Describen las pérdidas que se sufren dentro de una construcción tanto al recibir la señal de la RBS como al transmitir, existen tablas detalladas dependiendo del tipo de construcción, pero en términos generales se toma el valor de 20 dB a 850 MHz para urbano y 15 dB a 850 MHz para suburbano.

Pérdidas del cuerpo. Ocasionadas por el contacto y obstrucción del cuerpo del usuario de la unidad móvil. Se contemplan valores en el rango de 1-3 dB.

Margen de desvanecimiento. Como ya se trató, nos da la variación o desviación que sufre la señal debido a desvanecimiento, hay que recordar que varía dependiendo de los valores que se tengan de n , σ y CAP, para el ejemplo se considera un valor del 90% del CAP una desviación estándar en exteriores de 8 dB, interiores de 8 dB y automóvil de 3 dB, se considero un valor 3.7 para n .

Sensibilidad. Teniendo en cuenta que el mínimo de sensibilidad de una unidad portátil IS-136 es de -103 dBm para un BER del 3% en un canal con desvanecimiento de Rayleigh, asegurando así la calidad de la recepción y que una RBS 884 Macro tiene una sensibilidad de -113 dBm (considerando ganancia por diversidad).

Path Loss. Nos da las pérdidas que podemos tener por propagación para cumplir con el Link Budget. Si el sistema esta balanceado debe de coincidir el Path Loss del uplink y el del downlink.

2.11 AMPS

2.11.1 Arquitectura y funcionamiento general

Las estaciones base (BS) de un sistema celular están conectadas a centros de conmutación de servicio móvil, MSC (*Mobile Switching Centers*), que son

centrales de conmutación especializadas para ejecutar las funciones necesarias para el funcionamiento del sistema. La conexión BS-MS, se realiza mediante enlaces dedicados.

El funcionamiento de un sistema celular requiere la disponibilidad de las siguientes facilidades:

- Localización del móvil y mantenimiento de la misma (itinerancia, "roaming")
- Facilidad de conexión del móvil dondequiera que esté (radiobúsqueda, "paging").
- Sintonización automática de canales por parte del móvil.
- Transferencia o conmutación automática de una llamada en curso cuando el móvil pasa de una célula a otra (traspaso, "handover/handoff").

lo cual implica la disponibilidad de un sistema de señalización avanzado, aplicado sobre canales de control mediante protocolos específicos, seguros y rápidos.

De hecho, el control desempeña un papel primordial en el funcionamiento de un sistema celular, siendo la actividad que impone la mayor complejidad tanto de equipo físico como de soporte lógico.

Para la función de localización todo usuario móvil está inscrito en un registro de usuarios locales denominado HLR (*Home Location Register*). El HLR es una base de datos que contiene la información del abondo.

Existe también, dependiendo del MSC, un registro de transeúntes o visitantes llamado VLR (*Visitors Location Register*).

La MS explora los canales de control de las BS y se sintoniza en el canal en que reciba mayor intensidad de señal, retornando por este canal su identificación, la cual, a través de la BS, llega a una MSC en cuyo VLR se inscribe este MS como transeúnte o visitante. Esta información de situación e identidad del móvil se transfiere al HLR.

Para el encaminamiento de una llamada dirigida a una MS, se interroga al HLR. Este registro indicará la MSC donde debe reencaminarse la llamada.

El aviso a la MS se produce simultáneamente en varias células, en la zona de localización, con el código de llamada propio del móvil ("paging").

Periódicamente la MS debe repetir el proceso de inscripción ya que, en su desplazamiento, ha podido salir de una zona de localización y pasar a otra.

Si, en el curso de una comunicación, la MS sale de la zona de cobertura de la BS que está atendiendo la llamada, para evitar que ésta se corte, debe transferirse a otra célula, ejecutándose un proceso denominado traspaso

("handover" o "handoff"). Para ello se miden niveles de campo y/o calidad de la señal entre el MS y las BS próximas, candidatas a recibir la llamada y, en función de los resultados de las mediciones, se efectúa la conmutación de la llamada a otra BS, asignándose un nuevo radiocanal.

El traspaso puede efectuarse entre sectores de una misma células, y entre células pertenecientes a una misma MSC o a MSC diferentes y comporte un volumen de señalización importante. Supone además una corta interrupción de la comunicación para dar la orden de traspaso por el canal de tráfico.

Tanto para la inscripción, como para la sintonización en los canales de tráfico y para el traspaso, la MS debe ser capaz de acceder con rapidez a los radiocanales asignados a la zona, lo que requiere el empleo de un sintetizador de frecuencia muy "ágil".

La figura 2.12 muestra la configuración general de red del sistema AMPS. La central de conmutación de móviles MTSO actúa como centro de control y como interfaz con la red pública conmutada. Da servicio a una zona de cobertura grande en la que todas las llamadas de los móviles se conmutan a través de la MTSO. La central de conmutación está formada por procesadores, memoria y matriz de conmutación y circuitos de servicio. Los programas almacenados en memoria proporcionan la lógica de control de las llamadas telefónicas. Normalmente los procesadores y la memoria se duplican para aumentar la fiabilidad por medio de redundancia.

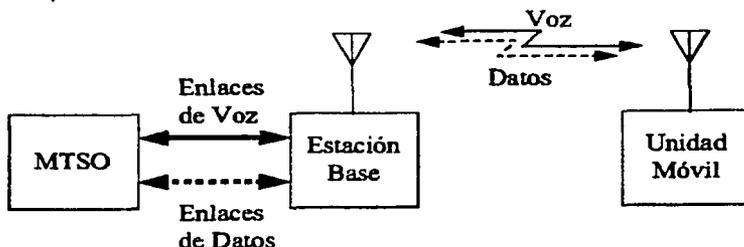


Figura 2.12 Configuración general de red del sistema AMPS

Las funciones de control que realizan son:

Conmutación local estándar. Las líneas de los usuarios, a través de las estaciones base, llegan al centro de conmutación que además se conectan con otros centros de conmutación de la red fija. Las matrices de conmutación conectan a los usuarios entre si y se diseñan para conectar dos líneas o dos

enlaces de concentración con una cierta probabilidad de bloqueo o grado de servicio.

Gestión de los canales de radio. Los programas de procesado de llamadas controlan el establecimiento y desconexión de todos los tipos de llamadas.

Mantenimiento de las unidades remotas. Los programas de mantenimiento permiten reconfigurar el hardware en caso de fallo el equipo de forma que el sistema pueda continuar operando. También proporcionan diagnóstico de los fallos de las unidades de manera que se pueda proceder con la reparación rápidamente.

Gestión de los mensajes. Los programas de administración proporcionan mecanismos para cambiar las bases de datos. Estas incluyen registros de los usuarios, datos de tarificación, datos de uso de los enlaces y medidas de tráfico.

Control de las estaciones base y móviles. El sistema permite tres tipos de llamada: móvil a móvil, terminal fijo a móvil (o viceversa) y llamadas de servicio o asistidas por operador. En un a llamada móvil a móvil cuando el MTSO recibe el número llamado determina que corresponde a otro usuario dentro del mismo sistema celular y redirige la llamada sin tener que pasar por otra central de conmutación (salvo que el usuario esté en la cobertura de otro sistema con el que haya que interconectarse) ver figura 2.13.

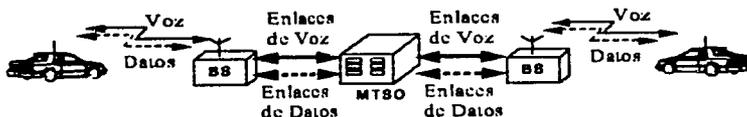


figura 2.13 Establecimiento de una llamada

Definición de términos y de funciones

Estación (unidad) móvil local. Es una estación móvil abonada al sistema celular al se hace referencia.

Estación base. Una estación fija distinta de la estación móvil con la que se enlaza.

Canal de control. Es un canal usado para la transmisión de información de control desde una estación base a la estación móvil o viceversa.

Canal de control directo (FDCC). Es un canal de control usado desde la estación base a la estación móvil o viceversa.

Canal de control inverso (RECC). Es un canal de control usado desde la estación móvil a la estación base.

Canal de voz directo (FVC). Es un canal de voz usado desde una estación base a una estación móvil.

Canal de voz inverso (RVC). Es un canal de voz usado desde una estación móvil a un a estación base.

Canales de establecimiento. Se designan así a ciertos canales de control.

Canal de acceso. Es un canal de control que se usa por una estación móvil para acceder al sistema y obtener servicio. El canal de acceso siempre se establece desde la unidad móvil a la estación base.

Canal de búsqueda (paging). Búsqueda es la acción de localizar una estación móvil cuando el sistema recibe una llamada para ella. El canal a través del que se realiza esta localización es el canal de búsqueda.

Código de color digital (DC). Es una señal digital transmitida por un canal directo de control que permite detectar la captura (sintonía) de una estación móvil interferente. Hay cuatro códigos de color.

Petición urgente (flash). Es un mensaje enviado por un canal de voz desde una estación móvil a una estación base indicando el deseo de un usuario de un proceso especial, como en el caso de una emergencia.

Tono de señalización (ST). Es un tono de 10 KHz transmitido por la estación móvil sobre un canal de voz. Permite realizar diversas funciones.

Traspaso de llamada (handoff). Es la acción de transferir una estación móvil de un canal de voz a otro canal de voz. Hay dos clases de traspaso: a) traspaso entre células; b) traspaso dentro de la misma célula.

Información numérica. Se usa para describir la operación de la unidad móvil. Se definen los siguientes *indicadores numéricos*:

MIN Número identificador del móvil

MIN1 24 bits que corresponden al número de 7 dígitos asignados al móvil

MIN2 10 bits que corresponden a los tres dígitos del código de área.

BIS Identifica cuando una estación móvil debe chequear una accediendo al sistema.

CCLIST Búsqueda por parte de una estación móvil en una lista de canales de control.

CMAX Número máximo de canales de control entre los que debe realizar la búsqueda la unidad móvil (hasta 21 canales).

MAXBUSY Máximo número de veces que se permite que se encuentre ocupado un canal de control inverso.

NBUSY Número de veces que una estación móvil intenta atrapar un canal de control inverso y lo encuentra ocupado.

NSZTR Número de veces que una estación móvil intenta atrapar un canal de control inverso y falla.

PL Nivel de potencia RF de la estación móvil.

SCC Número digital que se almacena y se usa para identificar en que frecuencia SAT debe recibirse una estación móvil.

Búsqueda o "paging". El acto de localizar una estación móvil cuando el sistema recibe una llamada para él.

Canal búsqueda o "paging". Es un canal de control directo que se usa para localizar estaciones fijas y enviarles órdenes.

Registro. Es el procedimiento por el que una estación móvil se identifica al sistema como activa.

Itinerante. Es una estación móvil que opera en un sistema celular distinto al que se ha usuario (suscrito el servicio).

Tono Supervisor de Audio (SAT). Es uno de tres tonos posibles entornos a 6 KHz que posee cada estación base. En algunos casos cada sector de una estación base tiene una frecuencia SAT.

Identificación de sistemas (SID). Es una identificación digital única para cada sistema celular.

Número de serie electrónico (ESN). Es un número asignado por el fabricante a cada terminal móvil.

Identificación de grupo. Es un subconjunto de los bits más significativos del SID que se usa para identificar un grupo de sistemas celulares, como por ejemplo PacTel, Southwestern Bell, etc.

Espaciado de canales. Es de 30 kHz por cada canal unidireccional. Por ejemplo el canal 1 tiene las frecuencias centrales de 825.030 MHz (transmisión del móvil) y 870.030 MHz (transmisión de la estación base)

2.11.2 Características de canales

Los parámetros técnicos del AMPS se pueden agrupar en tres categorías; parámetros de sistemas, parámetros de comunicación y parámetros de unidad móvil. Los parámetros de sistema incluyen todos los requisitos en base a los que se ha implementado el sistema. Los parámetros de comunicación incluyen aquellos relacionados con la calidad de voz. Los parámetros de unidad móvil son los requisitos que sirven de base al diseño del control y transceptor del terminal móvil.

El FCC asignó originalmente 40 MHz del espectro de RF para sistemas celulares, divididos en dos bandas de 20 MHz cada una. La mitad superior de la banda de 40 Mhz se asignó a la compañía telefónica local y la mitad inferior al nuevo operador (RCC radio common carrier). Las frecuencias de 870 a 890 MHz se usan para las transmisiones de las estaciones base (enlace directo) mientras que las frecuencias 825 a 845 MHz se usan para la transmisión de los móviles (enlace inverso). Cada canal radio está formado por un par de canales simples que están separados por 45 MHz y la separación entre las bandas de transmisión y recepción permiten el uso de filtros duplexores en la unidad móviles. En 1989 el FCC añadió 10 MHz adicionales de espectro a repartir por igual entre los dos operadores lo que permite añadir 166 nuevos canales dúplex. El ancho de banda de frecuencia intermedia de los receptores es de 30 kHz.

Para transmisión de voz se utiliza una modulación de frecuencia de la portadora, FM, con una desviación de pico de frecuencia de ± 12 kHz. Se utiliza preénfasis y compasión.

Los datos de señalización en el canal de búsqueda (paging) se transmiten desde la estación base a los móviles de forma continua a 10 kbps usando una modulación FSK con una desviación de pico de frecuencia de ± 8 kHz. Dentro de los canales de voz se transmiten también datos de señalización de forma discontinua a 10 kbps. Se utiliza una técnica de señalización conocida como blanqueo y ráfaga consistente en que se elimina la voz por un periodo de 50 ms durante el que se transmiten los datos. El usuario no nota la interrupción causada por la eliminación de los 50 ms de voz. Los datos se codifican con un código Manchester de forma que su espectro cae por encima del espectro de la voz.

Tanto la voz como los datos se pasan por limitadores y discriminadores de frecuencia en los receptores. La salida del discriminador se separa en dos parte, la que se envía al procesador de voz y la que se envía al demodulador y decodificador de datos. Para proteger los datos de los efectos de desvanecimiento del multitrayecto se codifican con codificadores BCH y se repiten entre 5 y 11 veces. El receptor toma decisiones sobre la información recibida por un proceso de decisión mayoritaria.

La trama continua de datos en el canal directo consiste en una secuencia punteada de 10 bits, que se envía para sincronización de bit, un código de 11 bits, denominado código de Barker, que se usa para sincronización de trama y 40 bits de datos que se repiten 5 veces. En realidad los usuarios en un área de servicio se dividen equitativamente en dos conjuntos A y B y los bits de datos se envían para cada uno de los conjuntos. Además se inserta un bit cada 10 que es un indicador de estado libre u ocupado de la estación base y que permite reducir las colisiones en el proceso de acceso aleatorio a través del canal de acceso ver figura 2.14.

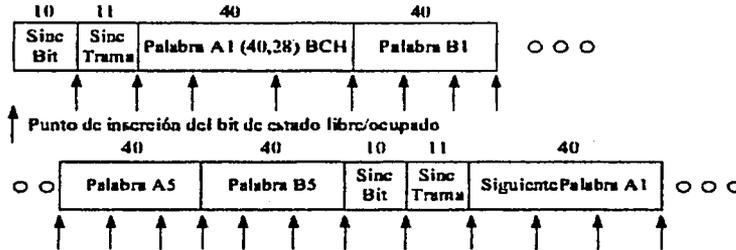


Figura 2.14 Formato de datos del canal directo de control

El canal inverso consta de un campo precursor de establecimiento de 48 bits y 5 repeticiones de palabras de 48 bits de los usuarios de los grupos A y B. Dado que la transmisión de estos mensajes es discontinua la longitud de la secuencia de sincronización es mayor que en el canal directo de búsqueda ver figura 2.15.

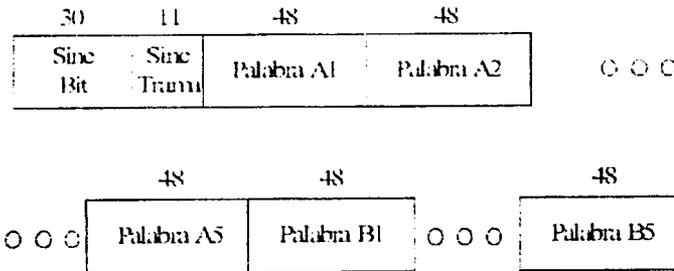


Figura 2.15 Formato de datos del canal de control inverso

El formato de la transmisión de datos sobre el canal de voz, que utiliza la técnica de borrado y ráfaga, se muestra en la figura 2.16. Aquí los mensajes se repiten 11 veces en la dirección directa y 5 en el enlace inverso. Ello se debe a que la información en el enlace directo es más crítica que en el enlace inverso porque incluye los mensajes de traspaso. El mensaje de borrado de ráfaga comienza

con una secuencia punteada que genera un tono de 5 kHz que se usa para detectar el comienzo del mensaje. Luego cada palabra repetida contiene también una secuencia de punteo de 37 bits seguidos por una secuencia de Barker de 11 bits.

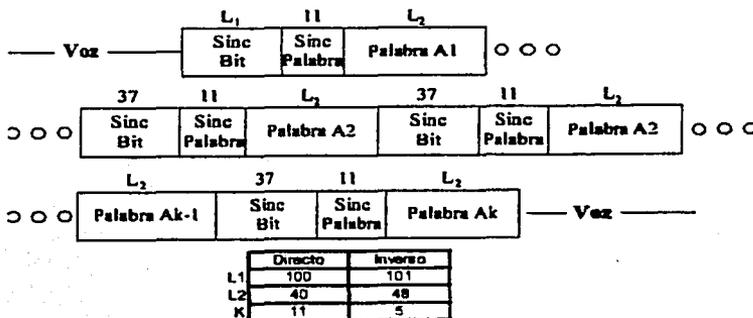


Figura 2.16 Formato de datos del canal de voz

Control de Potencia

El móvil ajusta su potencia en base a las instrucciones de la estación base. El ajuste de potencia se base en medidas periódicas del nivel de señal que realiza la estación base a petición del centro de conmutación de móviles. Si el nivel de voz medido es inferior a un cierto valor la estación base envía, mediante un mensaje de borrado y ráfaga en el canal directo de voz, una orden de ajuste de nivel de potencia. Estas ordenes hacen variar el nivel de potencia de la unidad móvil en saltos de 4 dB. Hay un total de siete niveles con un valor mínimo de -39 dBW. Por otra parte si el valor de voz medido es superior a un cierto nivel la estación base ordena al móvil a disminuir su nivel de potencia de transmisión. La figura de ruido del receptor es de 6 dB y el nivel mínimo de sensibilidad del receptor que se especifica es de -116 dBm en el terminal de antena para proporcionar una relación señal a ruido de salida de 12 dB.

2.11.3 Procesos de llamada

a) Llamada de móvil a móvil

En una llamada móvil a terminal fijo que se muestra en la figura 2.17, cuando el MTSO recibe desde la estación base el número llamado lo transfiere a la central de conmutación correspondiente de la red fija, normalmente a través de una cadena de centrales de conmutación.

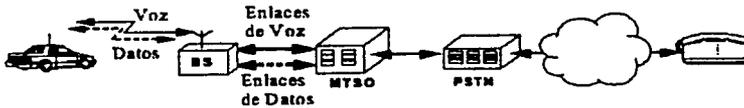


Figura 2.17 Llamada de móvil a terminal fijo

b) Llamada de terminal fijo a móvil.

La llamada desde un usuario fijo a uno móvil sigue el siguiente proceso que se muestra en la figura 2.18:

- 1) La red pública conmutada encamina la llamada al MTSO en la que está registrado el usuario móvil
- 2) El MTSO hace que todas sus estaciones base transmitan, en sus canales de mensaje, el número del móvil llamando
- 3) El móvil, sintonizado al canal de acceso más intenso, identifica su número y envía un reconocimiento de recepción del mensaje. La estación base reenvía este reconocimiento al MTSO.
- 4) El MTSO selecciona un canal de voz libre de la estación base y un enlace con esta a la que envía la información. Esta envía la información al móvil que se sintoniza a dicho canal de voz.
- 5) A través del canal de voz se envía un tono de alerta al móvil al tiempo que se envía tono de llamada al usuario que ha iniciado la llamada.
- 6) El circuito de voz está disponible tan pronto como el usuario llamado responda (se quitan los tonos de alerta y de llamada).

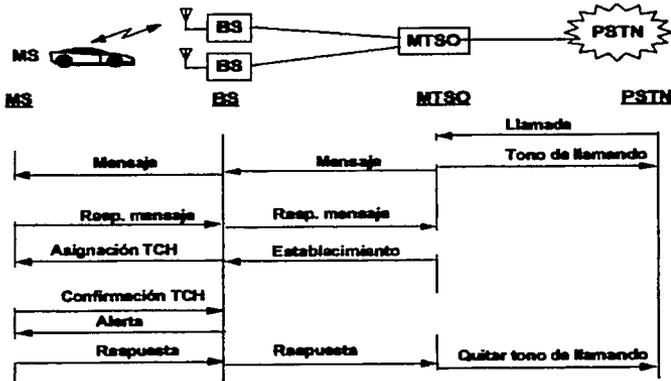


figura 2.18 Llamada de terminal fijo a móvil

c) Llamada iniciada por una terminal móvil a uno fijo.

El proceso de llamada desde un móvil a un terminal fijo es el siguiente, ver figura 2.19:

- 1) El móvil recibe por el canal de mensaje (PCH) el número de canales de acceso (ACH) disponible en la zona.
- 2) Explora los ACH y se sintoniza al más intenso, que probablemente pertenecerá a la estación base más próxima.
- 3) El móvil envía el número al que llama y su propia identificación. La estación base recibe esta información y la encamina hacia el centro de conmutación de móviles MTSO.
- 4) El centro de conmutación de móviles MTSO determina el canal de voz a asignar al móvil y le envía la información para que éste se sintonice en dicho canal.
- 5) El MTSO envía el número llamado a la red pública conmutada PSTN.
- 6) La red pública conmutada PSTN completa la conexión al número llamado.

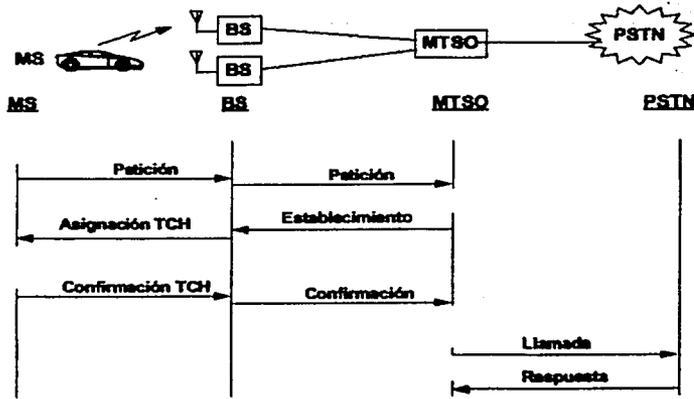


figura 2.19 Llamada de un terminal móvil a uno fijo

d) Proceso de traspaso de llamada (handoff)

El traspaso es el proceso de conmutación entre la estación base de la célula de servicio actual a una nueva cuando la señal de voz cae por debajo de un determinado nivel debido principalmente al movimiento del teléfono en las diferentes áreas de servicio de cada célula o celda, se muestra en la figura 2.20.

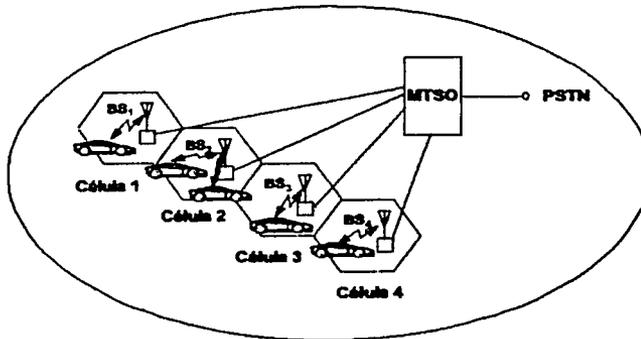


figura 2.20 Concepto de traspaso de llamada

La secuencia de sucesos que tienen lugar en un proceso de traspaso es la siguiente:

- 1) La información de localización y el valor de las señales obtenidos por la estación base que está dando servicio y por las células adyacentes se envía al MTSO
- 2) Cuando el nivel de portadora cae por debajo de un determinado nivel el MTSO decide conmutar la llamada de la célula.
- 3) El MTSO establece un canal de voz vacío, y un enlace de tierra asociado, que informa a la estación base de la célula nueva que debe conectar su transmisor.
- 4) Se envía al móvil un mensaje, por medio de la estación base que aún la está dando servicio, informándole de su nueva designación de canal de voz.
- 5) El móvil desconecta el tono de supervisión del canal de voz antiguo, lo que interpreta en el MTSO como una desconexión del canal antiguo.
- 6) El móvil se sintoniza al nuevo canal y retransmite el SAT que encuentra en el proceso de traspaso.
- 7) El MTSO reconfigura entonces su red de conmutación y conecta la línea terrestre con el móvil a través del nuevo canal de voz y enlace asociado.

El proceso completo de traspaso dura unos 0.2 segundos y apenas lo notan los usuarios, ver figura 2.21.

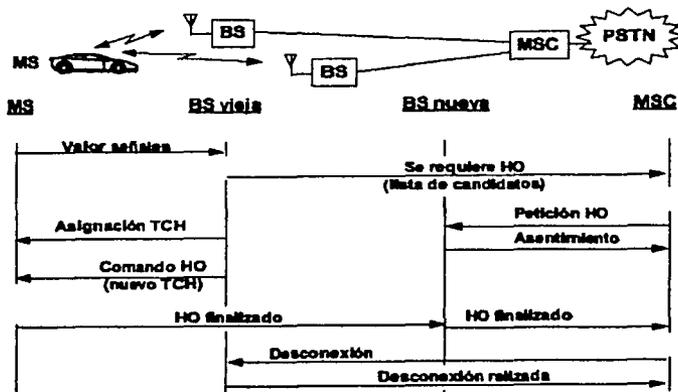


figura 2.21 Proceso de traspaso de llamada

2.12 TDMA

TDMA como se le conoce en la industria no es sino la evolución de el sistema de primera generación análoga AMPS a un sistema de segunda generación y digital que ha sufrido cambios y revisiones a continuación se presenta un resumen y el nombre del estándar relaciona a lo que hoy se conoce coloquialmente con la industria como redes celulares TDMA

- EIA 553

- Plataforma de tecnología basada en AMPS analógico

- IS-54B

- Introduce un canal de tráfico digital TDMA y un nuevo juego de características •autenticación, identificador del número de llamada, indicador de mensaje en espera, y privacidad de voz.

- TDMA

- Compatible anteriormente (backward compatible) para IS-54B y EIA 553. Incluye un canal de control digital y características avanzadas.

- TDMA Revisión A

- Upbanded IS-136 para servicio celular sin interrupción (seamless) entre las bandas de frecuencias de 800 MHz y 1900 MHz, y el desarrollo de activación sobre el aire y servicios de programación.

- TDMA Revisión B

- Introduce una gama de nuevas características (emisión SMS, paquete de datos etc.)

2.12.1 Arquitectura y funcionamiento general

Como hemos remarcado desde el comienzo de este trabajo a la evolución del sistema digital Americano se denomina D-AMPS o también NA-TDMA (North American TDMA) o American Digital Cellular (ADC) o North American Digital Cellular (NADC) o sistema IS-54. En el diseño del sistema en 1987 la elección de TDMA como acceso múltiple se vio influenciada por el sistema europeo GSM que es TDMA. Dicho sistema digital debía usar la misma banda de frecuencias asignada para el sistema analógico AMPS. El sistema digital y el analógico debían por tanto coexistir. En estas circunstancias la aproximación de menor riesgo es la de utilizar la misma distribución de frecuencias que el sistema analógico y por tanto la canalización FDMA. Debido a la coexistencia de los sistemas analógico y digital se decidió el desarrollo de una unidad móvil dual: es decir la misma unidad puede trabajar con el sistema analógico y digital.

En el sistema digital se dispone de los 21 canales de acceso que se comparten entre los dos sistemas y ambos comparten el mismo proceso para establecer la llamada.

La arquitectura del TDMA (DAMPS) es similar a la del GSM y AMPS. La única diferencia es que es el DAMPS solo hay un interfaz común que es el interfaz radio. EL D-AMPS usa la red inteligente. Todos los componentes mostrados en la figura 2.22 tales como HLR, VLR, AUC y EIR son los mismos usados en GSM y algunos usados en AMPS.

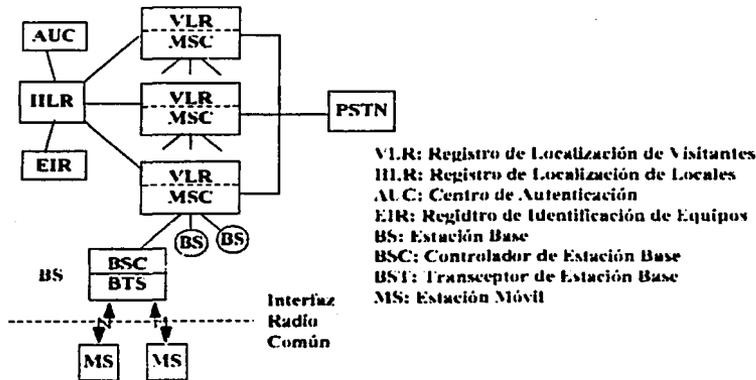


figura 2.22 Arquitectura y elementos de la red

Hubo dos fases en el desarrollo del DAMPS:

Primera Fase. (En la que se comparten los 21 canales de establecimiento usados en el sistema analógico). La primera fase se dedica por tanto exclusivamente a la transmisión de voz. Tanto el modo AMPS como el DAMPS se implementan en la misma unidad. El proceso de traspaso debe considerar las siguientes probabilidades:

- De una célula AMPS a una célula AMPS.
- De una célula DAMPS a una células DAMPS
- De una célula AMPS a una célula DAMPS
- De una célula DAMPS a una célula AMPS

Segunda Fase. Se generan nuevos canales digitales de establecimiento (que estaban en la banda de voz) para acceder a los canales de voz TDMA de forma que se puede fabricar una unidad exclusivamente para el sistema digital. Se especifica un protocolo para la transmisión de datos.

a) Canales

En DAMPS los canales de establecimiento son canales analógicos compartidos con el sistema analógico.

Un canal digital (un canal de 30 KHz usado en TDMA) contiene 25 tramas por segundo. Cada trama es de 40 ms y tiene 6 intervalos de tiempo de 6.66 ms. Toda la trama tiene 1944 bits (972 símbolos) ver figura 2.23.

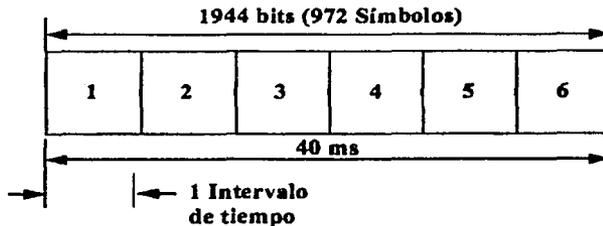


Figura 2.23 Estructura de trama TDMA del D-AMPS.

Cada intervalo de tiempo contiene 324 bits (162 símbolos) siendo el tiempo de bit de 20.52 μ s. Por tanto el canal de radio debe transmitir 48.6 kbps a 24 kbaudios.

▪ Longitud de trama

Hay dos longitudes de trama, de tasa completa y de tasa mitad. Cada canal de tráfico de tasa completa debe usar dos intervalos de tiempo igualmente espaciados en la trama.

El canal 1 usa los intervalos 1 y 4

El canal 2 usa los intervalos 2 y 5

El canal 3 usa los intervalos 3 y 6

Cada canal de tráfico de tasa mitad debe utilizar un intervalo de tiempo en la trama:

El canal 1 usa el intervalo 1.

El canal 2 usa el intervalo 2.

El canal 3 usa el intervalo 3

El canal 4 usa el intervalo 4

El canal 5 usa el intervalo 5

El canal 6 usa el intervalo 6

▪ Estructura de una trama (offset).

ESTA TESIS NO SALI
DE LA BIBLIOTECA

En la estación móvil se establece un offset de tiempo entre la trama inversa y directa (sin aplicar el avance de tiempo) de:

Trama directa - Trama inversa + (1 intervalo + 44 símbolos)

Trama inversa + 206 símbolos

El intervalo de tiempo (TS) 1 de la trama N (en el enlace directo) ocurre 206 periodos de símbolo después del TS 1 de la trama N del canal inverso.

El sistema DAMPS no tiene canales comunes como los que se utilizan en GSM. La llamada de acceso utiliza los 21 canales de acceso que se comparten con el sistema analógico

b) Supervisión del canal de voz digital

Los canales de supervisión del DAMPS son similares a los del GSM:

Canales de control rápido asociado (FACCH). Es un canal de borrado de la información de voz y transmisión de una ráfaga de 260 bits con mensajes de control y supervisión entre la estación base y la unidad móvil. Fundamentalmente el FACCH se utiliza para traspaso.

Canal de control lento asociado (SACCH). Es un canal de señalización que se obtiene incluyendo 12 bits en todos los intervalos de tiempo transmitidos sobre el canal de tráfico tanto si se está enviando voz como si se está enviando un FACCH.

c) Interfaz de Aire

Codificador de voz (tasa completa). La codificación de voz del DAMPS es un tipo de codificación conocido como codificación "lineal predictiva excitada por el código" (CELP). El código se denomina "lineal predictivo excitado por suma vectorial" (VSELP). Utiliza un "libro de códigos" para cuantizar vectorialmente la señal de excitación (residual) de forma que la carga computacional requerida por la búsqueda en el libro de códigos se reduzca. La tasa de muestreo del codificador es de 7950 bps. La voz se trocea en tramas de 20 ms que contienen 160 símbolos. Cada trama se subdivide en subtramas de 5 ms (40 muestras).

En la estación móvil la voz analógica se convierte al formato PCM (modulación de pulsos codificados). El procesador de voz está precedido de las siguientes etapas de procesado de voz : ajuste de nivel, filtrado paso banda, conversión analógica a digital.

El decodificador VSELP se muestra en el diagrama de bloques de la figura 2.24 la primera parte es la generación de pulsos de excitación y la segunda es la síntesis de formas de onda de voz. Todos los valores de los parámetros H, I,

$\alpha, \beta, \alpha_1, \dots, \alpha_{10}$ correspondientes a una trama de voz de 20 ms se reciben usando una tasa de transmisión baja. Estos parámetros se insertan en las entradas adecuadas del decodificador de voz.

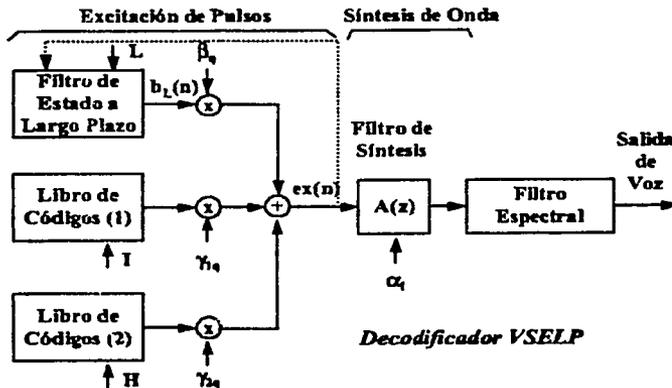


figura 2.24 Diagrama de bloques del decodificador

Los retardos debidos al interfaz aéreo entre la estación base y la estación móvil pueden exceder 100 ms, y por tanto se hacen necesarias medidas de control de eco. En los codificadores de tasa mitad la trama de voz es de 20 ms y contiene 80 símbolos.

Autenticación. A cada usuario se le asigna un número secreto PIN (número personal de identificación). La estación móvil cuando recibe algún mensaje de acción global actualiza la variable RAND que tiene almacenada internamente y que utiliza como entrada al algoritmo de autenticación ATH1. El móvil usa su PIN, su ESN y el MIN para calcular una respuesta RAND de acuerdo con ATH1. Entonces el móvil responde al mensaje de búsqueda transmitiendo su MIN, la respuesta de AUTH1, RANDC (confirmación aleatoria) y COUNT (parámetro de historia de llamada).

Modulación. El DAMPS utiliza una modulación de envoltura constante que es un QPSK diferencial con desplazamiento de $\pi/4$ ($\pi/4$ DQPSK). El esquema de modulación usa la constelación de la figura 2.25 :

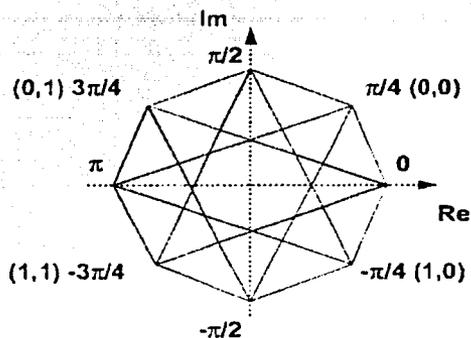


figura 2.25 Constelación de la modulación $\pi/4$ DQPSK.

La rotación de $\pi/4$ se produce alternativamente en el estado par e impar. Se usa codificación Gray en la proyección de bits al plano de la constelación. Cada punto de señal representa un símbolo de dos bits. La información se codifica diferencialmente; los símbolos no se corresponden a las fases absolutas sino a la diferencia de fase entre dos símbolos consecutivos.

Una secuencia binaria de datos b_m se separa en dos X_k correspondiente a los bits pares e Y_k correspondiente a los bits impares. Las secuencias $\{X_k\}$ e $\{Y_k\}$ se codifican en las $\{I_k\}$ y $\{Q_k\}$ mediante la siguiente ecuación

$$I_k = I_{k-1} \cos[\Delta\phi(X_k, Y_k)] - Q_{k-1} \sin[\Delta\phi(X_k, Y_k)]$$

$$Q_k = I_{k-1} \sin[\Delta\phi(X_k, Y_k)] + Q_{k-1} \cos[\Delta\phi(X_k, Y_k)]$$

donde I_{k-1} , Q_{k-1} son las amplitudes en el pulso anterior. Los cambios de la fase $\Delta\phi$ se determinan con la tabla 2.7:

X_k	Y_k	$\Delta\phi$ (estado par)	$\Delta\phi$ (estado impar)
1	1	$-3\pi/4$	π
0	1	$3\pi/4$	$\pi/2$
0	0	$\pi/4$	0
1	0	$-\pi/4$	$-\pi/2$

Tabla 2.7

El valor de Φ_n se obtiene de la codificación diferencial como:

$$\Phi_n = \Phi_{n-1} + \Delta\Phi_n$$

Se emplean tres mecanismos para la correlación de errores de canal:

- Una codificación convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ para proteger los bits más vulnerables de la codificación de voz.
- Entrelazado de los bits codificados de una trama de voz sobre dos intervalos de tiempo para reducir las ráfagas de errores producidas por el desvanecimiento Rayleigh.
- Uso de un código cíclico de chequeo redundancia (CRC). Una vez que se aplica la corrección de errores en el receptor, se chequean estos bits de CRC para ver si se han recibido correctamente los bits más significativos, desde el punto de vista perceptivo, de la voz codificada.

Los 159 bits de una trama de voz codificada se separan en dos tipos. Los 77 del tipo 1 son los más importantes y se transmiten codificados convolucionalmente. De ellos hay 12 que son los más importantes y se transmiten desde el punto de vista de percepción de calidad de la voz recuperada y a ellos se les aplica el código CRC de 7 bits. Los 82 restantes del tipo 2 se transmiten sin protección contra errores.

Chequeo cíclico de redundancia. Los bits más significativos desde el punto de vista perceptivo se codifican con un CRC de 7 bits. El polinomio generador usado es

$$g(X) = 1 + X + X^2 + X^4 + X^5 + X^7$$

Los 12 bits B_0, B_1, \dots, B_{11} forman un polinomio de entrada $a(X)$ al codificador dado por

$$a(X) = \sum_{k=0}^{11} B_k X^k$$

La salida del codificador $b(X)$ es el resto de la división de $a(X)$ por $g(X)$ obtenida como:

$$\frac{a(X)X^7}{g(X)} = q(X) + \frac{b(X)}{g(X)}$$

donde $q(X)$ es el cociente de la división.

De esta forma se forma un código sistemático y a los 77 bits (que incluyen los 12 más importantes) se les añaden los 7 CRC obtenidos dando lugar a un total de 84 bits. A estos se les añaden 5 bits "0" para reinicializar el codificador convolucional y esta cadena de 89 bits se envía a dicho codificador.

0-3	4-80	81-82	84-88
4bits CRC	77 bits	3 bits CRC	5 bits "0" de cola

tabla 2.8

Chequeo cíclico de redundancia en recepción. Después de la decodificación convolucional de los bits $b(X)$ se había recibido como $b'(X)$ y estos son los que se chequean para detectar los errores. El proceso consiste en separar de los $12 + 7$ bits los 12 primeros ($a'(X)$) y efectuar el cociente:

$$\frac{a'(X)X^7}{g(X)} = q'(X) + \frac{b''(X)}{g(X)}$$

Se compara entonces b'' y b'' y en caso de que sean diferentes se habrá detectado error. Como resultado de la presencia de errores se degrada la calidad de voz y procede con una estrategia de enmascaramiento de las tramas malas. Para ello se establecen 6 estados. El estado 0 significa que no se han detectado errores. Cada vez que se van encontrando tramas sucesivas con errores se incrementa en 1 el estado. El estado vuelve a 0 cuando se obtienen dos tramas consecutivas sin errores.

Codificación convolucional. Los 89 bits más importantes entran en el codificador convolucional que produce 176 bits codificados. Se les añaden entonces los 82 bits de tipo 2 y se forman los 260 bits correspondientes a las tramas de voz de 20 ms. La tasa de la codificación convolucionales $\frac{1}{2}$ y la longitud de restricción (tamaño de memoria del codificador) es de 5. Por tanto el número de estados del codificador es $2^5 = 32$. Por cada bit de entrada se producen dos bits de salida denominados CCO y CCI.

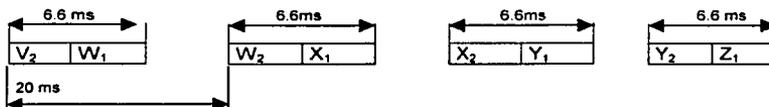
Entrelazado. Los bits de voz tras la codificación convolucional se entrelazan en dos intervalos de tiempo. Cada intervalo de tiempo contiene información de dos tramas de voz, ver figura 2.28.

La voz codificada consiste en 88 bits de clase 1, y 80 bits de clase 2 tras la codificación CRC. Los bits de clase 2 se entrelazan con los bits de clase 1 una vez codificados convolucionalmente. Si dos tramas codificadas de voz se denominan X y Y sus bits se introducen por columnas en una matriz como la siguiente.

0X	26X	...	234X
1Y	27Y	...	235Y
2X	...	...	...
3Y	...	...	...
...
24X	50X	...	258X
25Y	51Y	...	259Y

Los bits de la matriz anterior se leen entonces por filas y se transmiten.

Desentrelazado. En la parte de recepción cada intervalo de tiempo contiene los datos entrelazados de dos tramas 0, de otra forma los datos X_1 y X_2 de la trama X están separados por 20 ms. Los datos recibidos se colocan por filas en una matriz de descentralización de 26×10 . Tras el desentrelazado se dispone de todos los bits de la trama.



Trama de Voz codificada $X = X_1 + X_2$

figura 2.28 Estructura del entrelazado

Requisito de entrelazado de retardo compensable

La estación móvil y la estación base deben tener una capacidad de compensación de retardo de hasta la duración de un símbolo.

d) Alineación del tiempo y limitación en la emisión.

Alineación de tiempo. Es necesario controlar la transmisión del intervalo de tiempo de ráfaga de la unidad móvil en TDMA (adelantándola o retrasándola) de forma que llegue a la estación base en una relación temporal adecuada respecto a las otras transmisiones. Un error de la alineación de tiempo produce el solapamiento de la cola de un intervalo con la cabecera del siguiente con la pérdida de ambos.

Acceso al sistema. La estación móvil recibe un mensaje de asignación inicial de canal de tráfico (ITCD) que está contenida en la palabra 2 (palabra de dirección extendida) y se sintoniza al canal de tráfico. En primer lugar se sincroniza al canal de tráfico directo. Se envía entonces la alineación de tiempo mediante un mensaje de control de la capa física. Cuando la estación móvil opera sobre un canal de tráfico digital está transmitiendo en un intervalo de tiempo que contiene 324 bits en tramas sucesivas. La estación móvil continúa transmitiendo ráfagas en la posición de referencia hasta que recibe un mensaje de alineación de tiempo desde la estación base. En ese momento la estación móvil ajusta su tiempo de transmisión para el siguiente intervalo de tiempo.

Alineación de tiempo en el mensaje de traspaso. Un mensaje de traspaso contiene también información de la estimación de alineamiento temporal. Los mensajes de traspaso analógico- digital y digital – digital contienen un campo indicador de ráfaga corta (SBI) de 2 bits con los siguientes significados:

- SBI – 00 traspaso a una célula de diámetro menor
- SBI – 01 traspaso de sector a sector
- SBI – 10 traspaso a una célula de diámetro mayor.

Formato de la ráfaga corta.

La ráfaga corta tiene la siguiente estructura:

- G1 Intervalo de guarda de 3 símbolos.
- R Intervalo de rampa de 3 símbolos
- S Palabra de sincronismo de 14 símbolos
- D Código de color para verificación (DVCC) de 6 símbolos (canal inverso)
- G2 Tiempo de guarda de 22 símbolos
- V Cuatro bits "0" (2 símbolos)
- W Ocho bits "0" (4 símbolos)
- X Doce bits "0" (6 símbolos)
- Y Diez y seis bits "0" (8 símbolos)



3 Símbolos

22 Símbolos

Formato de la ráfaga corta

El intervalo entre dos palabras de sincronismo (hay un total de 6 palabras de sincronismo) es un intervalo único. Tras la detección de dos o más palabras de sincronización la estación base puede determinar el alineamiento temporal.

Limitaciones de emisión. La potencia total transmitida debe seguir el gálibo indicado en la figura 2.29.

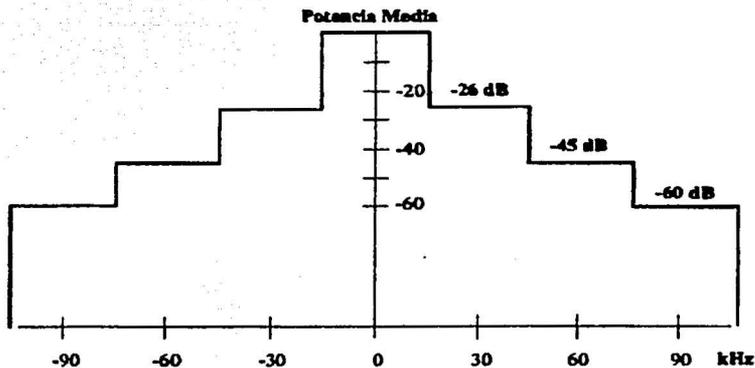


figura 2.29 gálibo limitaciones de emisión.

En el sistema AMPS hay ocho niveles de potencia. En el TDMA hay tres niveles adicionales. Por tanto en total el TDMA tiene 11 niveles de potencia. En el caso de no tener portadora la potencia de salida en la antena transmisora debe caer a -60 dBm en 2 ms. En condición de transmisión de portadora la potencia de salida de la antena transmisora debe desviarse menos de 3 dB del nivel especificado.

Transmisión discontinua sobre un canal de tráfico digital. En DTX (transmisión discontinua) ciertas estaciones móviles pueden conmutarse de forma autónoma entre dos estados de nivel de potencia transmitida: DTX alto y DTX bajo.

En el estado DTX alto nivel de potencia del transmisor de la estación móvil es el que se indica en la orden de control de potencia más reciente. En este estado el CDVCC (código de color digital de verificación codificado) se envía siempre. El CDVCC se usa para distinguir el canal de tráfico de los canales de tráfico cocanales de otras estaciones. La decodificación, con un código (12,8), del CDVCC proporciona el DVCC que se chequea para identificación. Hay $2^8 - 256$ códigos (el 0 no se usa).

En el estado DTX bajo el transmisor se desconecta y no se transmite el CDVCC excepto en la transmisión de mensajes a través de FACCH. Después de enviar todos los mensajes el transmisor vuelve a desconectarse.

Marca de tipo de estación (SCM). La estación móvil debe tener almacenado el SCM que al principio eran cuatro bits que identificaban la máxima potencia de los tres tipos de estaciones móviles. Ahora en el SCM se usan 5 bits que permiten identificar ocho niveles de potencia diferentes, como se muestra en la tabla 2.9.

Tipo	Max.P dBm	Min. P dBm	Nº Niveles	SCM
I	6	-22	0-7	0XX00
II	2	-22	1-7	0XX01
III	-2	-22	2-7	0XX10
IV	-2	-34+-9 dB	2-10	0XX11
V				1XX00
VI				1XX01
VII				1XX10
VIII				1X11

tabla 2.9

Identificación de sistema local. El identificador de sistema local (SID) es un indicador de 15 bits del sistema la que el usuario está suscrito. Los primeros 2 bits indican el país al que pertenece el sistema y los restantes son el número del sistema.

14	13 12	0
(2 bits)	Número de sistema	

- 00 USA
- 01 Otros Países
- 10 Canada
- 11 México

2.12.2 Traspaso de llamada asistido por el móvil (MAHO, Movil Assited Handoff)

En DAMPS el proceso de traspaso de llamada a diferencia de AMPS se ve asistido por el móvil de la siguiente manera y con la finalidad de mejora este proceso y disminuir los fallos. La estación móvil realiza medidas de la calidad de la señal en dos tipos de canales;

- Mide el indicador de intensidad de señal RSSI y la información de tasa de error BER del canal de tráfico directo durante la llamada.
- Mide el RSSI de cualquier canal RF que se indique en el mensaje de orden de medida que le envíe la estación base.

El traspaso asistido por el móvil consta de tres mensajes

1) Orden de comienzo de medida

- La estación base envía el mensaje de orden de comienzo de medida a la estación móvil
- La estación móvil envía a la estación base el mensaje de reconocimiento de la orden de medida.

2) Orden de parar de medir

- La estación base envía al móvil la orden de parar de medir
- La estación móvil envía a la base un mensaje de reconocimiento de dicha orden
- Mensaje de calidad del canal (enviado por el móvil a la base)
- El móvil transmite la información de calidad bien sobre el SACCH o bien sobre un FACCH. En este caso de transmisión discontinua:
- Cuando el móvil está transmitiendo (DTX alto), la información de calidad se transmite sobre el SACCH
- Cuando el móvil está en DTX bajo transmite la información de calidad de canal sobre FACCH

3) Acción de traspaso

- Cuando se recibe orden de traspaso y la estación móvil está en DTX alto permanece en dicho estado. Si está en estado DTX bajo debe pasar a DTX alto y esperar 200 ms antes de pasar a realizar el traspaso. El traspaso a un canal de tráfico digital se describe como sigue:
- Conecta el tono de señalización durante 50 ms, lo desconecta, desconecta el transmisor que estaba operando en la frecuencia antigua.
- Ajusta la potencia, se sintoniza al nuevo canal, pone el DVCC almacenado al valor del campo DVCC del mensaje recibido.
- Pone el transmisor y el receptor en modo digital, establece las tasas de transmisión y recepción en base al campo del tipo de mensaje.
- Establece el intervalo de tiempo en base al campo del tipo de mensaje.
- Establece el desplazamiento de la alineación de tiempo al valor que recibe en el campo TA (time advance).
- Una vez que está sincronizado el transmisor entra en la tarea de conversación del canal de tráfico digital.

Seguridad e Identificación, autenticación

1.- Número de identificación del móvil (MIN). Es un número binario de 34 bits ($2^{34} = 1.7 \cdot 10^{10}$) que se obtiene a partir del número telefónico de 10 dígitos.

- 2.- Número de serie (ESN electronic serial number). Es un número binario de 32 bits que identifica de forma única cada estación móvil y que se asigna en fábrica. Cualquier intento de cambiar el número de serie del circuito debe hacer *inoperante* la unidad móvil.
- 3.- Primer canal de búsqueda (FIRSTCHP). Es un número de 11 bits que se almacena en la unidad móvil y que identifica el número de canal de búsqueda que debe usar el móvil cuando es "local".
- 4.- Identificación de sistema local (SID). Es un identificador de 15 bits que se usa para identificar la estación local. El último bit significativo es 1 para el sistema A y cero para el sistema B.
- 5.- Selección del sistema preferente. Se proporciona un procedimiento para que la estación móvil seleccione el sistema A o B como preferente.

2.13 Herramientas de diseño.

Se requiere de una herramienta de software para la planeación y optimación de parámetros de las redes celulares. Esto incluye; potencias, tipo de antena, altura de torres, frecuencias, códigos, umbrales, retrasos y otros muchos parámetros que tienen que ser distribuidos en diferentes partes de la red. La correcta distribución de estas fuentes implica generalmente una significativa mejora en el desempeño del sistema y en consecuencias incremento en la capacidad.

El propio diseño de un sistema inalámbrico requiere que este sea diseñado no solo en base al desempeño que desea sino en base a consideraciones económicas. Esto significa que el desempeño debe optimizarse en áreas de mayor concurrencia y en las zonas de baja concurrencia debe considerarse una tolerancia a la degradación así como para aquellas áreas donde la degradación sea mayor debido a la poca relevancia del área. Para realizar este tipo de diseño debe considerarse la información demográfica, por lo que una herramienta debe tenerlo como prioridad. Diferentes capas de información demográfica (residencial, de negocios, comercial, vehicular, y de transito en especial) pueden analizarse y generar a detalle las posibles demandas (tráfico). La herramienta permite a los operadores la generación de mapas de tráfico, basándose en las regiones demográficas o a través de datos. Diferentes distribuciones de tráfico pueden combinarse para producir una alta precisión en la planificación de la capacidad de la red.

La planeación de una red TDMA debe realizarse a través de una herramienta de propagación con las siguientes recomendaciones, para el diseño inicial hasta la expansión y optimación.

Una herramienta que le pueda dar soporte a la planeación en TDMA digital puede ser para los estándares IS-54 e IS-136, incluyendo al sistema AMPS. Muchos de los operadores analógicos continúan migrando a estos estándares digitales para dar soporte a una capacidad mayor y hacer más eficiente el uso del espectro limitado.

La base de datos debe dar soporte al uso de nomenclaturas propias para un sistema digital, canal de control digital (DCCH Digital Control channel), código de color de la verificación digital (DVCC Digital verification Colour Code) así como de la nomenclatura analógica.

El plan de portadoras así como el despliegue de sus características permitan dar soporte tanto a la nomenclatura digital como analógica incluyendo los canales de tráfico digital (DTC Digital Traffic Channels) y canales de voz analógicos (VCH Analogue Voice Channels)

Cuando el control analógico y los tipos de tráfico se crean o seleccionan, la herramienta debe permitir que la frecuencia automática de planeación (AFP) se asigne lógicamente a los canales de control analógicos (ACC Analogue Control Channels) y a los canales de voz analógicos (VCH Analogue Voice Channels). De la misma manera que cuando se usan los de control y de tráfico digitales se apliquen los campos para el canal de control digital (DCCH Digital Control Channel) y los canales de tráfico digital (DTC Digital Traffic Channels)

La herramienta debe dar soporte a los códigos de color de la misma manera que en los sistemas analógicos. El código de color se asigna automáticamente en la planeación para cada sector de acuerdo a la portadora de la frecuencia seleccionada por el usuario en la base de datos.

Deberá valorar el intervalo de desfaseamiento en el tiempo que se utiliza para limitar la cobertura de una célula. Esta es la distancia a la cual la señal recibida en la trama de tiempo de un canal está retrasada severamente con lo que se tendría un impacto contrario en la calidad de la recepción.

La planeación en grupo permite crear el plan de frecuencias usando asignaciones definidas por la herramienta en el editor de grupo. Este método es posible para la frecuencia de planeación ofreciendo mejor control en la interferencia y en la asignación de canales de acuerdo al crecimiento para una mayor capacidad.

En la planeación de IS 136 la herramienta debe considerar dar soporte a las siguientes características.

- Almacenamiento del DCCH, DVCC, ACC y SAT en las portadoras de las siguientes bases de datos
- Soporte total a las planeaciones de frecuencias automáticas para canales de voz y control analógicos y digitales.

- Planeación , almacenajes y despliegado de los códigos de color
- Limitaciones de cobertura utilizando los rangos distribuidos avanzados
- Planeación avanzada en las frecuencias por grupos
- Información del mejor servidor y segundo mejor servidor, número de servidores, C/I, C/A, densidad de tráfico, mapa de coordenadas, altura de terrenos y tipos de suelos.
- Despliegue de cambios dinámicos de cobertura e interferencia.
- Facilidades que permitan al usuario definir efectivamente las características

La creación del sitio, localización y edición es uno de las tareas de diseño y optimación, donde la herramienta minimiza el tiempo incluyendo las características siguientes:

- Adición de múltiples sitios, desplazamiento y cancelación
- Rápida línea de vista que permita desplegar la visibilidad de cada sitio
- Agrupamiento de sitios utilizando ya sea banderas en los archivos o listas
- Definición de zonas hexagonales con la finalidad de asistir al diseñador en la planeación en áreas regulares e irregulares, con opción de subdivisiones.
- Un editor global que permita una amplia variedad de parámetros de rápida edición incluyendo altura de antenas, tipo de antenas, modelo de propagación, equipamiento de células, ERP, inclinación de las antenas y parámetros de planeación hexagonal.
- Planeación de sitios en las estructuras jerárquicas de macrocélulas y microcélulas
- Definición de las listas de vecinas
- Para los estudios de *cobertura* se requieren las siguientes evaluaciones:
- Posibilidad de uso para cualquier dimensión del área en estudio o de interés así como del número de células
- Análisis de coberturas de redes
- Estudios de mejor servidor y mejores áreas de coberturas
- Análisis en tiempo real en la locación del cursor
- Predicción a lo largo de líneas de objetos (ejemplo carreteras)

En la planeación de frecuencias.

- Uso definido de planes de frecuencia multibanda
- Asignación interactiva de canales o grupos de canales a una célula
- Generación automática de listas de vecinas
- Análisis de transferencias de células (handover / handoff)
- Calculo total de C/I usando un plan de frecuencia

El uso de herramientas que permitan elaborar planeación de frecuencias de forma automática es algo cada vez mas en uso. Se recomiendan las siguientes tareas básicas:

- Generación / optimación automática del plan de frecuencias a través de la minimización de tráfico interferido.
- Modelado y ajuste en las propagaciones automáticas de radio
- Parámetros: de interferencia cocanal y adyacente, tráfico, separación de restricciones, restricciones definidas para el usuario.
- Completo modelado de C/I con canales adyacentes y cocanales, cálculos de interferencia compuesta.

Se pueden definir tres fases aproximadas en una herramienta para un correcto seguimiento.

En la primera fase (matriz) se establece una matriz de relación, que calcule la interacción entre los elementos de la red de acuerdo a ciertos criterios. Se consideran las demandas de datos para que el diseño puede ser totalmente óptimo. La fase de la matriz puede dividirse en dos partes, una que calcule los umbrales de las traspaso de llamadas y otra que calcule las vecindades y la interferencia de la matriz. El mismo proceso ejecuta las dos partes y el operador debe decidir que datos quiere calcular y utilizar.

En la segunda fase (plan) las fuentes son asignadas utilizando un algoritmo que provee soluciones a través de un método determinado y en poco tiempo. La fase del plan puede dividirse en dos partes, una que planea la frecuencia y la otra que planea las fuentes. Las fuentes adicionales son generalmente códigos que se utilizan para diferenciar las mismas asignaciones de frecuencia como son el SAT, DSAT, DCC, DVCC u otras fuentes. La planeación para cada fuente adicional se da en orden jerárquico, tal que cada plan debe considerarlo previamente. Para calcular el SAT una nueva matriz se genera considerando el plan de frecuencia y la matriz de interferencia. Dicha matriz se utiliza después para la asignación del código del SAT. El plan del SAT y la matriz del SAT se utilizan para generar una nueva matriz que asigne los códigos DCC. La fase de planeación asigna las fuentes (frecuencias) a las demandas requeridas (canales) con la finalidad de minimizar las desventajas debidas a la interferencia y reuso.

En la tercera fase (desempeño) el desempeño del sistema se calcula y despliega gráficamente. Un método por partes permite al operador comparar diferentes planes y un método calificativo permite evaluar el desarrollo del sistema global. Esta fase utiliza una metodología para evaluar la calidad del plan. Un celular utiliza planes regulares en los cuales cada sector indica un grupo de frecuencias específicas. Esto limita el crecimiento del sistema una vez alcanzado la capacidad del reuso asignando los canales de frecuencia lo mejor posible. Todo esto hace difícil la evaluación del desempeño del sistema, generando baja calidad en las llamadas. Para evaluar este promedio se requiere un criterio que refleje principalmente la calidad de las llamadas en sistemas con frecuencia compartida, con otros sistemas las llamadas pueden variar alrededor del promedio.

La herramienta preferentemente deberá de contar con un editor de antenas con las siguientes características:

- Omnidireccional, sectorial y de microondas donde sus patrones puedan importarse, editarse y desplegarse, formatos disponibles de vectores de 3D.
- Diseño de antenas y manufacturas que provean los patrones de radiación de las antenas.
- Patrones para antenas comerciales.
- Características disponibles incluyendo ediciones, desplegados de los patrones de radiación en posiciones verticales y horizontales, y la gama de parámetros eléctricos y datos de manufactura

La herramienta debe proveer el perfil del terreno el cual es extremadamente versátil y provee información válida a lo largo de los mapas.

- Altura del terreno, clasificación y altura del tipo de suelo pueden desplegarse a lo largo del patrón
- Desplegados de la zona de fresnel y la intensidad de la señal
- Los perfiles pueden desplegarse de acuerdo al número de modos, es decir punto a punto, sitio a punto, sitio a sitio, a lo largo de los vectores, a lo largo de la ruta de supervisión, a lo largo del enlace de microondas, entre sitios y sitio punto microondas.

Uno de los elementos que afecta el desempeño y el uso de las herramientas de planeación la habilidad del uso de diferentes tipos de datos como alturas, diferentes tipos de suelo y vectores de bases de datos, por lo que se han establecido estándares que muchas herramientas siguen:

- Terreno y datos de morfología con resolución de 1 m.
- Bases de datos de las alturas de los edificios derivadas desde fotografías aéreas
- Diferentes clases de morfologías (tipos de suelo) se deben poder utilizar
- Morfología derivada de imágenes multiespectrales de satélite
- Las clases detalladas de vectores que incluyen caminos, autopistas carreteras privadas y federales, avenidas, calles ríos, suburbios, áreas metropolitanas y alrededores
- Imágenes como fotografías aéreas e imágenes satelitales o imágenes de mapas pueden representarse utilizando formatos comprimidos.
- Construcciones de mapas de datos habilitados para diferentes tipos de suelos, alturas y vectores

La herramienta debe contribuir a la *planeación del tráfico* a través de una serie de servicios que incluyan las siguientes capacidades:

- Control de numerosas definiciones de tipos de usuarios y tipos de servicio

- Circuitos conmutados en el modelado de la voz (taza completa y media taza)
- Circuitos conmutados en el modelado de datos
- Modelado de WAP, Internet y otros tipos de servicios definidos al usuario
- Control compresivo en la búsqueda de tráfico
- Despliegado de los resultados gráfico
- Disponibilidad de mapas con esquemas en código
- Despliegado de códigos de áreas de rutas
- Reporte detallado de los resultados
- Para el modelado de tráfico la herramienta debe permitir realizar las siguientes características y evaluaciones:
- Manejo de mapas de densidad e tráfico
- Análisis y reportes de tráfico a nivel célula y red, células que no cumplan con un específico GOS, % de llamadas bloqueadas, % total de tráfico soportado.
- Predicciones de un número requerido de canales para conocer el uso- definido de un criterio de servicio
- Dimensionamiento en tráfico, teledensidad

En la toma de decisiones la herramienta debe permitir realizar las siguientes evaluaciones:

- Modelado de propagación de radio frecuencia
- Análisis de múltiples transmisores en comunicaciones de redes
- Comparación de resultados de propagación con las pruebas de campo
- Distribución de la información crítica geográfica de los mercados, cuidado a los clientes, y planeación estratégica de los departamentos.
- Calibración eficaz en los modelos de propagación desde datos empíricos automáticos
- Control, planeación e integración de nuevos sitios con una flexible interfaz en el software -usuario- máquina
- Generación de planes de frecuencias automáticos con una mínima de implicaciones de interferencia
- Diseño de redes para una auto regulación y reuso
- Despliegue, edición y procesos de información geográfica
- Planeación del radio de las redes para licencias en sus aplicaciones
- Control diario de la frecuencia de reajuste y optimación
- Coordinación de las fronteras y frecuencias

En la generación de *reportes* fundamentados en diversos análisis se requiere una herramienta flexible que permita obtener resultados a través de múltiple fuentes de información:

- Generación de reportes flexibles incluyendo estadísticas de cobertura, tráfico e interferencia.
- Integración de todos los reportes y mapas en otros paquetes programación

- Reportes de clientes y análisis usando accesos directos a las bases de datos relacionadas.

A través de modulo de mediciones la herramienta debe permitir la ejecución de diversas actividades necesarias.

- Importante supervisión y despliegue sobre datos topográficos
- Predicción /comparación supervisada y análisis estadístico
- Calibración del modelo de propagación
- Manejo de múltiples supervisiones para cualquier número de sitios

Aunque no indispensable pero si necesario la herramienta debe tener la capacidad de trabajar paralelamente la red de transmisión de microondas con las siguientes características básicas:

- Bases de datos del equipo
- Análisis de perfiles de patrones
- Análisis confiables de los enlaces
- La planeación de frecuencias y cálculos de interferencia debe ser compresiva ya que contiene todas las funciones para la ingeniería de las microondas en el diseño práctico de enlaces de microondas.
- Alturas de terrenos y alturas de obstrucciones mostrando tanto Fresnel y la línea de vista de los patrones para el establecimiento de definiciones.
- Características del perfil de una propagación la cual se permita al usuario una mirada a los enlaces potenciales utilizando parámetros por definición inteligentes.
- Edición de la diversidad de los patrones de antenas.
- Análisis a lo largo del patrón desde el punto de vista de reflexión.

La herramienta seleccionada debe considerar diferentes modelos de planeación de acuerdo al tipo de servicio que se desee proporcionar, para realizar las siguientes actividades:

- Cálculos inteligentes de ingeniería con incrementos y predicciones actualizados
- Predicciones sobre bases de datos de múltiples- resoluciones
- Modelado avanzado Okumura-Hata y Cost Hata con calibraciones y edición de las características , hasta 255 clases.
- Walfish-Ikegami basado en el modelo de propagación para microcélulas
- Total integración de modelos de predicción externas a través de la programación (software, C++)

Evaluación del modelo de propagación seleccionado

En la planeación, la evaluación particular de las características del *modelo de propagación* utilizado por la herramienta se fundamenta en la necesidades propias del operador.

A partir de considerar que las predicciones de propagación RF se basan en métodos derivados empíricamente para el patrón de atenuación. Los modelos matemáticos requieren una gran y completa información de datos de entrada para tener el conocimiento del terreno y la morfología (clutter) las cuales son necesarias en los cálculos de propagación.

Los modelos de propagación necesitan ser evaluados y el mejor se utiliza para realizar comparaciones entre los resultados y las mediciones en tiempo real. Estas comparaciones se obtienen a través de la desviación del promedio y de la desviación estándar. Siempre habrá un error entre la predicción y las mediciones, por lo que el promedio nos dirá como se distribuye este error mientras que la desviación estándar nos dirá que tan largo o pronunciado es este error.

2.13.1 Calibración del modelo

La recolección de mediciones de propagación RF para la calibración del modelo requiere mucha atención en la obtención de los parámetros, por lo que el modelo será tan bueno como las mediciones lo sean. Las herramientas requieren de una calibración para asegurar la confiabilidad de dichas mediciones.

Para la extracción de parámetros de propagación desde las mediciones realizadas es muy importante que estas sean muestreos válidos de las estadísticas de las atenuaciones de propagación de la frecuencia de radio que se estudia. Existe un límite práctico en la recolección de mediciones, que producen la información requerida desde las herramientas de medición, por lo tanto un proceso posterior debe realizar para validar y filtrar la información.

Las herramientas han emitido algunas reglas básicas para seguirse durante el proceso de medición en la calibración. En este reporte el proceso de las mediciones y los parámetros de propagación proporcionados se analizan y están típicamente representados en el siguiente diagrama de la figura 2.30 En este proceso desorganizado y confuso puede agravarse debido al gran número de archivos y datos involucrados. Por lo que se sugiere que el operador identifique totalmente cada paso del proceso. De esta manera es posible descubrir cual de los archivos utilizados así como repasar durante el proceso.

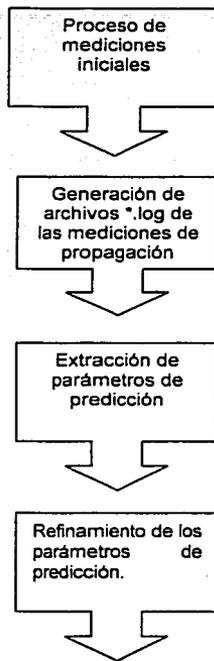


Figura 2.30 Proceso de mediciones y extracción de parámetros de propagación para la calibración de una herramienta

Proceso de mediciones iniciales. En este proceso los archivos recolectados por los equipos de mediciones deben procesarse para dar lugar a los archivos bajo el contexto solicitado, ver figura 2.30.

Opcionalmente una corrección de GPS puede utilizarse de las recolección de los valores del GPS en la locación. El análisis de las lecturas del GPS estacionario y el cálculo de su posición (al menos 10 horas de lecturas se requieren). O bien el usuario puede sobre escribir estos valores directamente. La conversión del proceso corregirá las lecturas del GPS utilizando la variación del GPS estacionario como referencia. Las coordenadas pueden interpolarse entre las lecturas de los GPS. Esto mejora significativamente las mediciones así como las localiza en la posición correcta.

El proceso de conversión selecciona un archivo para cada frecuencia seleccionada y el nombre del archivo de salida se genera automáticamente. Al

mismo tiempo las señales serán filtradas por el rango de la señal, un tiempo máximo sin señal GPS, tiempo entre las muestras y la mínima distancia entre las muestras. La generación de archivos a través del proceso e conversión sigue un estandarizado formato definido por la herramienta. Este formato tiene un título que provee información acerca de la transmisión y localización de los valores medidos. Así como campos para la predicción de valores y patrones adicionales. Estos campos se adicionan posteriormente al proceso y el formato se agrega al archivo.

Un filtrado se hace bajo diferentes criterios (señal, coordenadas y morfología), el cual se aplica para realizar las mediciones significativas. Las mediciones pueden verse simultáneamente durante el filtrado en forma gráfica. Es posible filtrar áreas indeseables, como puentes y vías rápidas elevadas.

El criterio de señalización provee al operador de un filtro en un intervalo de la señal, a través del mínimo y máximo nivel de señal aceptada para un servidor.

En el caso del nivel máximo de la señal, el área de mediciones se divide en subáreas con un tamaño específico y solo las mediciones más intensas de la señal se conservan.

El criterio de las coordenadas permite al usuario remover o conservar las mediciones de áreas definidas.

El criterio de morfología es muy útil ya que puede remover o guardar mediciones que coinciden con ciertas morfologías. Lo cual es útil cuando el operador después de realizar mediciones desea borrarlas debido a errores del GPS en las que las mediciones hayan quedado fuera del camino de la morfología.

Finalmente, se pueden considerar o borrar mediciones causadas por obstrucciones de la señal de transmisión, pero esta opción solo funcionará cuando los valores de las predicciones sean insertados en las mediciones en el proceso posteriormente.

*Generación de archivos *.log de las mediciones de propagación.* En esta fase las mediciones para ser utilizadas en la predicción requieren ser transformadas a archivos *.log para procesos futuros de calibración. Dichas mediciones deben importarse y procesarse, estos procesos permiten agregar información a las mediciones para las predicciones. Esta información se calcula en base al modelo utilizado a partir de sus características. Los archivos *.log tienen información auxiliar para cada patrón de medición, así como el tipo y calidad de las morfologías en cada patrón, además de otra información. No se considera ninguna tabla de datos para generar esta información.

Extracción de parámetros para las predicciones. Durante esta fase se extraen de las mediciones los parámetros de predicción. La calibración se hará automáticamente calculando los parámetros globales de propagación así como los parámetros para cada morfología.

Los tipos de morfologías son aquellos utilizados durante la generación de los archivos *.log de predicción. La tabla de calibración provee la importancia de cada parámetro en el muestreo total. Valores cuestionables de los parámetros con poca importancia deben establecerse para valores específicos, el objetivo es disminuir la desviación o conservarla al mismo nivel mejorando la significativa importancia de los parámetros.

Después de realizar la calibración, la desviación del promedio y estándar deben revisarse así como los parámetros. La distribución de las mediciones se muestra a través del valor promedio menos el valor de cada medición (M-m), la desviación de las predicciones se realiza de la misma manera (P-p), la desviación del error se obtiene a través de restar al promedio de las mediciones el valor de cada predicción (M-p). La distribución de la desviación es independiente y muestra las diferencias entre el valor predicho y el medido (p-m)

Estas distribuciones son buenos indicadores de la calidad de las mediciones y de su distribución (Raleigh o Suzuki o una mezcla de ambos). Esto también indica la calidad en la base de datos o si se requieren más predicciones. Finalmente este análisis puede ser un buen indicador de futuros refinamientos en la base de datos. Este puede utilizarse para evaluaciones entre los modelos.

Ajuste de parámetros de predicción. En este punto los archivos de mediciones tienen tanto las mediciones de tiempo real como las proyectadas, así como características básicas de las mediciones para cada patrón de RF.

Adicionalmente se puede completar el filtrado utilizando más datos. Existe la posibilidad de revisar los errores a través del análisis geográfico y después del filtrado el cual permita detectar los errores de los niveles de señal y de las coordenadas. Así como en análisis por separado de mas mediciones obstruidas y sin obstrucción. Después se pueden utilizar estos archivos para extraer los parámetros de propagación. Estos parámetros requerirán un ajuste fino por el usuario. Diferentes tablas de predicciones se pueden comparar para obtener los mejores parámetros para cada morfología considerando los impactos de estos cambios a través de evaluaciones, calculando las desviaciones para cada cambio. Además es posible adicionar mediciones desde los diferentes sitios para obtener una tabla promediada. Tan pronto como el operador este satisfecho con los parámetros obtenidos para ciertos ambiente deben respaldarse.

Después de la calibración el operador esta preparado para iniciar las predicciones de propagación. Se debe tener en consideración que otros parámetros pueden requerirse para una completa ejecución de predicciones.

2.13.2 Bases de datos

Terreno

La información del terreno incluye topografía, morfología y datos locales. El terreno se utiliza para predicciones de propagación de RF por lo que estas bases deben tener diferentes resoluciones de acuerdo a los requisitos de cada área, para optimizar el costo y el tiempo de procesamiento. Siendo las compañías relacionadas con RF las más indicadas en proveer estas bases de datos, como se muestra en la tabla 2.10.

Ambiente	Detalle	Unidad	Interior	Densidad Urbana	Densidad Urbana	Urbano	Suburbano	Rural
Tipo de célula			picocélula	WLL	micocelula	estándar	estándar	macro
Radio		M	40	2000	200	4000	8000	20000
Topografía	Resolución horizontal	m		30	30	30	90	90
	Resolución vertical	m		1	1	1	1	1
Morfología	Resolución Horizontal	m	1		3	30	90	180
	Resolución vertical	m	0.1	3	3	3	3	3
	Detalles	m	follajes	edificios	calles	avenidas	areas uniformes	areas uniformes
	Clases	m		4	16	12	7	4
localización			follaje	mapa(1:10K)	mapa(1:20K)	mapa(1:50k)	mapa(1:100)	mapa(1:250k)
				foto área	foto área	foto satelital	foto satelital	

Tabla 2.10 Requisitos de las bases de datos del terreno

La información geográfica se conforma por una visión aeronáutica y datos de la zona la cual puede ser utilizada para la localización de torres y determinación de alturas. Otras bases de datos incluyen candidatas a nuevos sitios y espectro geográfico posible así como la prevención de áreas interferentes.

Demográfica

La información demográfica debe representar la distribución de la población considerando sus actividades diarias y el uso de la telefonía celular. Las cuales deben agruparse de acuerdo a patrones establecidos divididos en regiones de densidad uniforme; entre los que se reconocen se tiene el residencial, vehicular, comercial, de negocios y de oficinas. Sin embargo los diseñadores generalmente la restringen a residencial, obteniendo resultados inconclusos. Por otra parte, para el análisis de tráfico e interferencia la información demográfica es esencial, ya que contribuye a la toma de decisiones en el crecimiento de una red.

Ambiente	Interiores	Densidad urbana	Densidad urbana	Urbana	Suburbana	Rural
Específico	si					
Residencial		si	si	si	si	si
Edificios		si				
Vehicular			si	si	si	si
Vías rápidas				si	si	si
Comercial		si	si	si	si	si
Negocios		si	si	si	si	si
Eventos		si	si	si	si	si

Tabla 2.11 Requerimientos de la demografía

2.14 Herramientas de recolección de datos

El equipo de medición que se utiliza en la recolección de datos debe seleccionarse en base a la fase de la planeación y diseño, implementación y desempeño, así como en la optimización y en la comparación de coeficientes de calidad con otras redes. Debido a que las características de cada equipo proporciona los resultados permitirán al operador un análisis en tiempo real de los eventos.

Un equipo debe proporcionar las mediciones que caractericen a las llamadas en tiempo real, la identificación de problemas en el servicio y desempeño de una red, dicho equipo debe permitir realizar las siguientes actividades:

- capacidad en la captura de datos de alta resolución
- supervisión integrada de RF
- capacidad de una supervisión digital
- soporte a las llamadas en modo dual
- análisis de canales de audio
- desplegado de mapas en tiempo real
- desplegado de diferentes capas y diferentes tecnologías
- análisis posterior y en tiempo real de las pruebas
- capacidad de almacenamiento de datos
- integración de GPS y supervisores para RF (scanners)
- reducción de datos y aportación de reportes
- alarmas para eventos de la red

Datos en tiempo real. Habilidad de establecer correspondencia entre los datos del conmutador y las llamadas, obteniendo un análisis de los parámetros de transmisión y recepción durante el proceso de una llamada.

Audio. Inminentemente, el hecho de conocer el estado de RF a través de las mediciones a los canales libres y ocupados, es otra de las habilidades del

equipo seleccionado, con la cual será permisible un análisis detallado de la calidad del audio basado en una correlación de múltiples datos. Dicha evaluación la realiza la función Q-MOS a través de una comparación con puntuaciones preestablecidas por el estándar MOS (Mean Opinión Score) de la UIT , las cuales corresponden a percepciones del audio independientes de la tecnología y el lenguaje. El Q- MAX es otra función que asiste en la estimación de las posibles causas de las deficiencias auditivas.

Alarmas. El establecimiento de alarmas capaces de representar las condiciones y problemáticas de la red a través de la combinación de las alarmas de voz programables, y el despliegado del desempeño de los parámetros, favorecen una rápida identificación y supervisión para la rectificación de errores.

Comparación de resultados. La verificación permite realizar una comparación automática del registro de llamadas (Call Data Record CDR) y los datos recolectados, la cual revela los errores en la facturación y en los procesos de registro previniendo la pérdida de los mismos, como se muestra en la figura 2.31.

En caso de la existencia de llamadas perdidas o confundidas los registros se eliminarán con lo cual se descarta la posibilidad de una molesta e insegura validación manual, facilitando el mejoramiento en el margen de operación. La comparación puede ser una parte integral del proyecto, la cual idealmente establece un programa que reduce los datos significativos, rápido y eficientemente.

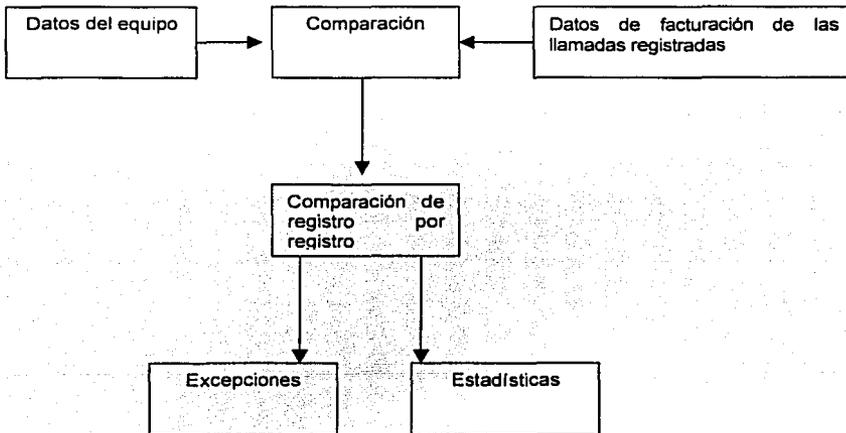


figura 2.31 Comparación de datos recolectados con los facturados.

Soporte para la comparación con otras redes. Un equipo debe dar soporte a diferentes versiones tecnológicas: GSM, CDMA, TDMA (IS-136), AMPS y otras, gracias a esta posibilidad se pueden realizar comparaciones objetivas.

El desplegado debe incluir.

- pantallas con parámetros específicos de cada tecnología en tiempo real
- supervisión de la banda base en comparación con otras.
- pantalla de análisis de la calidad del audio Q-MOS
- resumen de una llamada de acuerdo a su tecnología y modo
- despliegado del control y de las alarmas

Las predicciones de propagación gráficas y la recolección de datos proveen información de la cobertura y tiene sus limitaciones cuando se trata de resolver los problemas. Estas limitaciones incluyen los datos teórico contra el mundo real.

Se requiere de una localización geográfica, con el objetivo de referenciar el sitio en el momento de correlacionar los datos con la cobertura . Estas pruebas permiten identificar no linealidad en los canales de propagación y problemas de antena.

Requerimientos de estas mediciones incluye un conocimiento del área geográfica que rodea el sitio y al móvil que esta programado para ajustar el RSSI según la intensidad de transmisión. La familiarización con el área de servicio facilitará la definición de las orientaciones del sitio en caso de ser sectorial, en caso de ser omnidireccional se requieren tres puntos de medición separados de forma equitativa alrededor del sitio.

Las mediciones de campo deben incluir estándares para los accesos de cada canal así como para el canal de control. Las lecturas deben ser grabadas para cada canal y las variaciones entre los canales. Cada lectura por canal debe incluir , el monitoreo, caídas de llamadas, niveles bajos de RSSI, determinar si las antenas están radiando como se espera, la potencia PA y los cables.

Esta información es extremadamente útil en áreas próximas a las costas en donde fuertes vientos ocasionan grandes problemas

Drive Testing es una técnicas de optimización de una llamada activa, considerando las pruebas de campo en áreas donde se han detectado problemas de movilidad (handoff) o de interferencia los cuales se pueden detectar y cuantificar. El objetivo de las pruebas de campo (drive test) es esclarecer los problemas del sistema.

Preparación de las pruebas de campo. Algunas precauciones deben considerarse para asegura la veracidad de los resultados. En primer lugar la

calibración del equipo. Verificación de los niveles de RSSI con las respectivas antenas ha utilizar. Pruebas de linealidad de los niveles reportados por todos los equipos incluyendo antenas. Orientación de las antenas y pérdidas por acoplamiento de cables afectan los niveles de RSSI reportados. Pruebas de localización de los dispositivos automáticos (GPS) al comienzo de las pruebas.

Planeación de las rutas incluyendo lo siguiente:

- Avenidas y calles principales. Las rutas deben ser bidireccionales para corroborar el proceso de la llamada y la calidad.
- Conocimiento de la ubicación de handoff
- Problemas típicos del área, como cobertura RF, interferencia, deficiencia de un servidor dominante, y otros problemas del proceso de una llamada.

Análisis. Un reporte final que favorezca el análisis de propagación RF basado en los parámetros establecidos en el diseño y de los datos recolectados para referencia como son:

- El proceso de una llamada típica antes y después
- Con los valores recolectados de C/I
- Los reportes finales pueden ser los siguientes:
- Obtención del mejor servidor
- Canales activos
- Áreas con C/I

A través de los mapas se pueden detectar anomalías como:

- Traspaso de llamada (*handoff*), número, localización, (consistencia analógico & digital), continuidad e integración (transferencia a un destino lógico).
- Llamadas caídas, número y localización.
- Degradación auditiva, interferencia, o alto BER, número de eventos, frecuencia y locación.

Otras referencias de la información proporcionada por el *equipo* que contribuyen al análisis son los puntos que se exponen a continuación.

Se requiere el uso de generador de señales confiable que verifique las lecturas del instrumento. A través de variar la señal en el rango y observar si el instrumento sigue dichas variaciones, así como las conexiones directas y medir la señal en los extremos del rango, es decir en la señal más alta y baja.

Encontrar el ruido de saturación y el ruido de piso del equipo. Se puede encontrar que el equipo no sea capaz de cubrir el rango dinámico total del sistema, por lo que las mediciones tengan que realizarse en dos o tres rangos.

El permitir un rango dinámico adecuado nos permita observar las variaciones de la señal. Una sugerencia podría ser un rango de 30dB a 80dB (0 a 2km). Un segundo rango puede ser de 50 a 120 dB (1 a 10 km).

Para el establecimiento de los parámetros correctos existen diferentes métodos que permiten coleccionar la información. Uno de ellos es a través del establecimiento de pocos canales de control para registrar al mismo tiempo (1 a 3). Los cuales darán suficientes mediciones a lo largo. El promediar las mediciones con la finalidad de eliminar el fast-fading, sin eliminar el slow-fading, es el mejor camino así como realizar las mediciones y revisarlas en la localidad, incrementando gradualmente el promedio hasta que el fading disminuya a los valores deseados (menos de 0.5 dB es suficiente).

Uso de GPS diferencial. Los GPS normales proveen un error variable que puede alcanzar cientos de metros. Existe una técnica para mejorar la ubicación realizada por el GPS que es el uso de una configuración de GPS diferencial. El método consiste en estacionar un GPS en un punto conocido y uno mas con el que se realizaran las mediciones durante el recorrido para posteriormente corregir con las mismas variaciones que presento el GPS que se localizo en un punto fijo conocido.

Planeación de las rutas. Se deben realizar al menos 20,000 validas mediciones para formar una confiable base de datos. Así como el uso de todas las posibles morfologías representativas. Se debe conducir a la misma velocidad que a la hora pico.

Revisión de las bases de datos de posibles discrepancias. Evitar mediciones en áreas que no sean representativas en la base de datos, como túneles o crear nuevos desarrollos que no estén incluidos en la base de datos. Si se realizan estas mediciones y modificaciones se tienen que tener presentes para ser eliminadas en la calibración del modelo.

Realizar mediciones en la mismas áreas más de una sola vez. Slow-fading puede causar significativas variaciones en el área, lo cual debe caracterizarse. Mediciones en las calles en ambas direcciones, conduciendo en todas los carriles posibles así como promediar las mediciones para el fast fading.

Tomar nota de la condiciones en las que se realizaron las mediciones, cuidadosamente se debe verificar las alturas de las antenas, impedimentos locales, como atenuaciones debido al cuerpo y al carro. Se debe tratar de evitar estos impedimentos los cuales se pueden agregar posteriormente.

Analizar los resultados después de cada recolección de datos. Analizar las mediciones y buscar incongruencias, verificar si hay sentido con las expectativas. Algunas veces el sitio puede quedar fuera de servicio con lo que

CAPITULO 2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA RED CELULAR

se perderían toda la información, por lo que se tiene que revisar constantemente.

3. Elementos para la evaluación de una red celular

Para el proceso de evaluación y posterior optimación de una red de telefonía celular es necesario describir primero cuales son los puntos a analizar para conocer el desempeño de la red. Una vez que conocemos el desempeño de esta podremos concentrar los esfuerzos en medidas y cambios que mejoren la red.

Para facilitar el análisis y optimación de la redes se han definido tres parámetros o rubros generales los cuales nos informan el estado y desempeño de la red. Cada uno engloba a su vez mas características las cuales se irán analizando en un proceso de lo general a lo particular.

A continuación se describe esta división general de la que se habla.

3.1 Parámetros de evaluación

a) Accesibilidad

La accesibilidad es la capacidad del sistema gracias a la cual el usuario a través de la petición correspondiente se integra al servicio, la cual depende de varios factores, entre ellos:

- Nivel de señal RSSI (cobertura)
- Nivel de C/I y C/A (interferencia)
- Capacidad de tráfico de la celda
- Parámetros del sistema
- Características de la estación móvil
- Características del canal de control.

La acción de una llamada y registro al sistema esta determinado además de las condiciones de cobertura por el canal de control y sus parámetros.

A través del registro el sistema tiene control sobre las estaciones móviles que se encuentren activas, es decir, los teléfonos que se encuentran encendidos dentro de la zona de cobertura. Este registro se realiza periódicamente y es variable, lo cual se establece mediante comandos.

El canal de control es el dispositivo que mantiene conectados (en datos) a las unidades móviles, manteniendo una línea disponible en todo momento para dirigir la solicitud de acceso o registro, a través de la interfaz de aire ("IS" Interim Standard), la cual se define como el protocolo de comunicaciones entre la

estación móvil y el sistema (considerando un sistema conformado por la radiobase, el medio de transmisión y el MSC).

El primer estándar utilizado fue el EIA/TIA 553, actualmente uno de los utilizados es el IS-136, que comprende las funciones del EIA/TIA 553 revisión A, para AMPS es IS-545B para DAMPS adicionalmente las propias de IS 136 (canal de control digital).

Es por medio del protocolo de comunicaciones y de la lectura del DCC (Digital Color Code) que el canal de control identifica la solicitud de acceso de una estación móvil. Posteriormente en los teléfonos para tecnología TDMA además del DCC, se utiliza el SDCC o SCOL (Supplementary Color Code). El DCC con cuatro valores y el SDCC con 16 para reducir la posibilidad de que ocurran múltiples accesos. El DCC y el SDCC, se utilizan para discriminar los intentos de acceso de cualquier llamada que tenga la misma frecuencia y no corresponda a un canal de control específico.

Existen otros parámetros involucrados como son el SSACC (Signal Strenght for Access), mínimo nivel de señal requerido para realizar un acceso al sistema el PLC (Maximum Power Level On Control Channel) es la potencia máxima permitida al móvil para acceso.

b) Continuidad

Es la capacidad de la red de mantener una comunicación por el tiempo que esta sea necesaria, vigilando en cada momento el estado de la llamada y permitiendo exitosamente la movilidad de esta, asegurando con éxito los traspaso de llamada que pudieran ocurrir desde el inicio hasta el fin de la llamada.

Una vez que se ha establecido exitosamente una llamada en un canal de voz, dicha llamada entra en un estado conocido como supervisión "*call supervision*" Durante este tiempo se estarán tomando mediciones constantes de la señal enviada por el móvil en la recepción (*uplink*) y medida por la unidad de canal de voz a una velocidad de muestreo de 50 veces por segundo, y con ellas se realiza un cálculo del promedio de la intensidad de señal durante un segundo (100 mediciones) por cada segundo.

La supervisión de una llamada es el proceso de control de llamada que sigue el MSC desde que se establece una llamada hasta que termina.

Son varios los mecanismos que el sistema celular (mediante la central celular o MSC, las radio bases RB's y las estaciones móviles MS's) utiliza para la supervisión de cada llamada en proceso. Considerando los mas importantes el control de regulación de potencia de la estación móvil, que ya se describió en el capítulo 2 y el SAT, que recordemos es un tono de supervisión de audio que se envía en el canal de voz en la frecuencia del downlink y que la estación móvil recibe para regenerar y enviar en el uplink a la radiobase.

El control de regulación de la potencia del móvil , está regido por dos parámetros que controlan principalmente la intensidad de señal, el SSD (Signal Strenght for Decrease) y el SSI (Signal Strenght for Increase). Durante el estado de call supervisión, el SAT se está transmitiendo constantemente desde la estación base a la estación móvil. El SAT es detectado, regenerando y retransmitido por la estación móvil. En la unidad de canal en la estación base se realizan mediciones de señal a ruido (S/N) sobre el SAT que regresó a una velocidad de 50 muestras por segundo y se calcula con ellas el valor medio de la señal cada segundo. Al mismo tiempo el canal de voz mediante el detector de C/I , toma mediciones de C/I en la señal del uplink.

También como se menciona el aseguramiento de la continuidad de la llamada en una red móvil dependerá de que se logren con éxito todos los traspaso de llamadas a través de la red celular de celda en celda, factores relacionados al éxito o fracaso de un traspaso (handoff) son:

- Topología de la red (vecindades)
- Cobertura
- Niveles de interferencia
- Balance de tráfico
- Parámetros de handoff
- Pérdida de SAT
- Parámetros de MAHO.

c) Integridad

Se entiende como el desempeño y calidad que la llamada sufre durante su duración de principio a fin y en el tiempo que ha sido deseada.

La integridad de un sistema esta dada por el porcentaje de cumplimiento de la red en comparación a las metas de calidad establecidas.

Durante el proceso de duración de una llamada normalmente se experimentan cambios en la calidad de esta, el poder mantener un promedio en esta calidad es el objetivo relacionado a la integridad de la red.

Factores que tienen influencia sobre la integridad de la red son:

- Nivel de señal recibida RSSI (cobertura)
- Nivel de Interferencia
- Parámetros de registro y acceso
- Parámetros de handoff
- Topología de la red.

Como se puede observar existen factores comunes que influyen a mas de un parámetro. En el capítulo 4 se plantea una metodología para lograr de manera ordenada una revisión del estado de la red para su posterior optimación con miras a mejorar el desempeño y calidad de la red.

Es muy importante recalcar la importancia de estos tres parámetros generales y su entendimiento pues es de ellos que parte el análisis y valoración de las redes de telefonía celular.

3.2 Fuentes de información

Para realizar un análisis de los parámetros que evalúan el desempeño y calidad de una red celular nos debemos de apoyar en diferentes fuentes de información que nos den el estado de la red como actualmente esta funcionando. Podemos dividir esta información en dos grandes grupos:

- Los datos proporcionados por el manejo de rutas en la red con equipos de recolección y medición de la interfaz de aire, llamados datos de RF.
- Los datos proporcionados por el MSC (conmutador/switch)
 - a) Recolección de datos de RF (drive test)

Se deben realizar manejos de rutas conforme a la información y metodologías ya descritas al final del capítulo 2 en el tema de herramientas de recolección de datos.

Una vez realizados los resultado de las rutas se tendrá un reporte que favorezca el análisis de propagación de RF basado en los parámetros y metas establecidas en el diseño y de los datos recolectados de:

- El proceso de registro
- El proceso de acceso
- El proceso de llamada
- Transferencias de llamada(*handoff*), número, localización, (consistencia analógico & digital), continuidad e integración (transferencia a un destino lógico).
- Llamadas caídas, número y localización.
- Degradación auditiva, interferencia, o alto BER, número de eventos, frecuencia y locación
- Valores recolectados de C/I

Además se puede tener la siguiente información para la creación de reportes:

- Obtención del mejor servidor (análisis de cobertura)
- Canales activos

- Áreas con problemas de C/I
 - b) Recolección de datos MSC

Paralelamente a un recorrido de campo se generan unos archivos que proporcionan información en uplink, los cuales califican el desempeño sistema respecto al móvil.

Los archivos ".log" registran la siguiente información:

- BER
- Mejor servidor
- Número de servidores
- Tipo de servicios
- Handoff
- Interferencia co-canal
- Interferencia adyacente
- Interferencia total

Se tienen otros programas de medición del conmutador que registran datos del desempeño y calidad del servicio, para determinar la accesibilidad, continuidad e integridad que proporciona el sistema ("*Radio Disturbance Recording*", "*Radio Environment Statistics*" y "*Radio Related Call Release*")

3.3 Generación de reportes de desempeño

Detección y Análisis

Existen interacciones complejas entre el ambiente RF de un sistema celular y las funciones de programación que un sistema celular ejecuta que pueden afectar dramáticamente el desarrollo de una llamada. Un aspecto del sistema de optimación es el monitoreo del comportamiento del sistema para identificar los problemas en la planeación o en la ingeniería del sistema así como para determinar la acción de corrección mas apropiada.

La figura 3.1 ilustra la detección y monitoreo general de un modelo recomendado para el MSC.

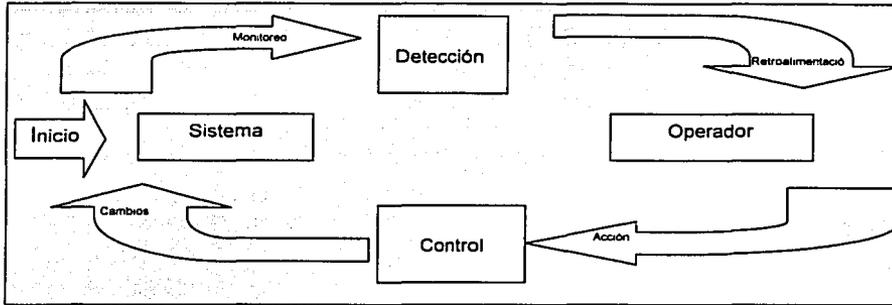


Figura 3.1. Diagrama de detección y monitoreo de un modelo recomendado para el MSC

El modelo muestra en forma consistente como el sistema y el operador interactúan para la optimización del funcionamiento del sistema en un proceso continuo.

Para un MSC, el sistema está integrado por todos los componentes e interfaces, incluyendo el conmutador, sitios celulares, radio, facilidades de transmisión y otras piezas de la infraestructura que dan soporte a una función celular.

Mediciones. Medidas operacionales (a través de fórmulas de cálculo) y archivos de recolección de datos en pruebas (archivos *.logs) conforman las bases de posibles mediciones en un MSC. Al igual que otras fuentes de información incluyendo reportes de facturación (billing records), resultados de mediciones de campo (drive test) las cuales proveen una retroalimentación adicional a la operación y comportamiento del sistema.

Operadores. Algunos operadores pueden involucrarse en el monitoreo del MSC, dependiendo del tipo de información que puedan recolectar. Estas pueden incluir a los técnicos del conmutador y del sitio celular, los cuales son responsables día a día de la operación del sistema, así como a los encargados de la red, quienes llevan el proyecto y pueden anticipar futuros requerimientos. Debido a diferentes intereses, estos grupos requieren diferentes mediciones con diferentes criterios.

Controladores. Para el MSC, los controladores representan cualquier ajustable o aspecto ingeniero del sistema. Incluyendo los controladores del software (en forma de tablas y parámetros) y controladores del equipo (el número de canales de voz en un sitio celular).

Para una correcta captura e interpretación de la información que el MSC provee, y para el entendimiento de cómo los controladores afectan las operaciones del sistema, el operador puede utilizar modelos de monitoreo como guía para el continuo desarrollo de las funciones del MSC. En el caso de que los

controladores y medidores no sean posibles, el modelo provee un soporte para que el operador pueda definir mejor los requerimientos faltantes.

Correlación de los Datos → Reportes. El sistema de monitoreo requiere de un proceso previo de selección de información OM⁴ (Operación y Mantenimiento) el cual sea asociado con la finalidad de obtener la información más relevante. Esta correlación de información puede hacerse a través de porcentajes de éxitos / fallas, eventos de distribución y tendencias. Algunos métodos de correlación de datos están en la industria bajo ciertos estándares y otros son productos más específicos, los cuales se caracterizan por la flexibilidad y habilidad de obtener los datos desde el conmutador.

Mediciones Comunes

- Recursos bloqueados → porcentaje de intentos de accesos que no pudieron ser completados debido a la no disponibilidad de dispositivos para el total de intentos de acceso.
- Accesos truncados → porcentaje de intentos de accesos que por varias razones no se completaron (ESN inválido) del total de intentos de accesos.
- Fallas en el establecimiento de una llamada → porcentaje de intentos de acceso fallados (número de SAT /DVCC detectado en el VCH) del total de intentos de accesos dados.
- Llamadas caídas → porcentaje de llamadas caídas del volumen total (por acceso o por handoff completados)
- Handoff fallidos → porcentaje de handoff fallidos del total de intentos de handoff (indicado por la orden de envío de un handoff).
- Handoff unidireccional → indicado por la no reciprocidad de handoff entre un par de células.
- Handoff asimétrico → fracción de handoff bidireccionales completados entre un par de células.
- Handoff interferencia (C/I, BER) → porcentaje de interferencia del handoff del volumen total de llamadas .
- Tiempo promedio de espera → promedio del tiempo canal / troncal comparado con el promedio de célula /sector y la desviación estándar (z-score)
- Tiempo de espera, comparaciones digital / analógico → Promedio de una célula digital comparada con el promedio de una célula analógica.

Eventos medidos que comúnmente no fallan y soportan OMs

⁴ Nota: Existen reportes OMs en el conmutador que comparten un propósito predefinido.

Total de intentos de accesos del móvil. Un intento de acceso es iniciado por un usuario final presionando la tecla de envío "SEND" y el intento de originar o de una respuesta de voceo sea detectada por el conmutador en el RECCH (canal de registro).

Total de accesos del móvil completados. Intentos con un acceso exitoso a un radio donde el SAT o DVCC es detectado por el canal de tráfico designado.

Total de handoff completados. El total de handoff completados exitosamente (como objetivo de una célula). Un handoff completado es indicado por un handoff desconocido y SAT o DCC detectado en la célula meta.

Protección de Acceso.⁵ Accesos protegidos → número de intento de acceso protegido por diversas razones (ESN invalido) del total de intentos.

La validación del subscriber es una necesidad de control. La optimación requiere alcanzar los parámetros correctos para establecer el CCH RSSI de protección. No existe un valor establecido para este parámetro. Típicamente el valor inicial se escoge menor (<-100dBm) y se incrementa hasta el valor de protección.

Tablas de reintentos de accesos de una llamada. Se han desarrollado numerosos estudios para determinar el porcentaje real de intentos de llamadas que han sido bloqueados y reintentado.

Fallo en el establecimiento de llamadas. Intentos de accesos fallados debido a la no detección de SAT / DVCC de los canales de tráfico después de que el móvil envía un mensaje. Un fallo en el establecimiento de una llamada es una forma de llamada caída. Los porcentajes tienen un umbral de 5% relativo a la actividad con la cual se este comparando.

Mediciones del funcionamiento de la movilidad

Reportes de la movilidad. Correlacionando los evento de OM, de datos RSSI, mediciones del ruido y la adyacencia se provee una extensa información sobre la actividad de movilidad y la falta de cobertura.

Handoff unidireccional. La base de datos pose algunos pares de células que no tienen una actividad reciproca de handoff.

Asimmetrical handoff. El filtro permite detectar aquellos pares de células las cuales tienen intervalos de handoff en una sola dirección.

Handoff RSSI. Comparación de la diferencia de la amplitud RSSI entre la célula en la cual se encuentra y a la que se dirige. Solo el MSC posee el producto con

⁵ Note: La protección de acceso al sistema es un evento deseado en el conmutador

la habilidad de cuantificar el promedio del nivel de la señal de la célula candidata. El RSSI de la servidora y de la candidata se proveen como agregadas con la finalidad de que ambos sean divididos por el mismo par de células.

Fallas mínimas en las mediciones de los eventos, degradación de una llamada, IM Interferencia, requieren ser cuantificados.

Uno de los mecanismos de detección que existen en el MSC es el del ruido⁶. Esta funcionalidad ocurre en forma autónoma. El ruido es grabado en el grupo OM. Estudios de campo indican que cuando hay una alta correlación de actividad de ruido indicado por los voceos (pegs) con un volumen de llamadas en el mismo sector, hay un incremento de probabilidad que algunas formas de IM existe.

Se pueden realizar algunas conclusiones al observar que la actividad normal del ruido cuando el volumen de llamadas es bajo, representado la correlación de la actividad de ruido para un volumen de llamadas en una célula con conocimientos de problemas IM.

Métodos mas precisos para establecer la correlación entre los datos y un coeficiente lineal de correlación. La correlación lineal del coeficiente mide la fuerza de relación lineal entre los valores de muestreo. Lo cual se calcula a través de la ecuación 3.1 fórmula

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{(\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2})(\sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2})} \quad \text{ec. 3.1}$$

donde

- r coeficiente de correlación lineal
- n número de muestras
- x ruido
- y volumen de llamadas (CallVol)

El valor absoluto del coeficiente calculado debe ser mayor al valor dado en un muestreo de tamaño 'n', como se muestra en la tabla 3.1.

N	(a= 0.01)	n	(a=0.01)
4	.999	14	.661
5	.959	15	.641
6	.917	16	.623
7	.875	17	.606

⁶ Nota: los efectos de "normal" interferencia son independientes de la actividad de una llamada monitoreada

8	.834	18	.590
9	.798	19	.575
10	.765	20	.561
11	.735	21	.549
12	.708	22	.538
13	.684	23	.514
(a= 0.01) es el valor de "r" necesario para un 99% de confiabilidad			

tabla 3.1 del coeficiente calculado en un muestreo 'n'.

Interferencia basada en la actividad de un handoff

Es el porcentaje de interferencia basado en el total del volumen de llamadas (C/I, BER), el cual es una interferencia que depende de la cobertura, las células que rodean y un número de células omnidireccionales, las que podrían aumentar el valor de interferencia basada en los handoffs sobre un valor bajo de RSSI detectado por las áreas de pobre cobertura con lo que se tiene una portadora susceptible tanto al ruido de piso como a la fuerza de la señal interferente.

Promedio de tiempo de espera. El tiempo promedio de espera de un canal / troncal promedio resulta de la comparación de un sector/ célula y la desviación estándar (z-marcador) . Para gravar el canal z-marcado, del muestreo de cada troncal deben haber por lo menos 30 intentos para tener un resultado significativo. Para una distribución normal, el z-marcado debe ser mayor que - 1.65 indica al menos 5% de posibilidad de que ocurra normalmente, si un z-marcador mayor a 2.14 la probabilidad se reduzca a un 1% de lo que ocurre normalmente.

Calculo de z-marcador ecuación 3.2.

$$z = (x - \bar{x})/s \quad \text{ec.3.2.}$$

donde

- z z-marcador
- x MHT individual
- \bar{x} MHT por sector
- s desviación estándar del sector

Tiempo de espera –Promedio comparado de una célula digital con una analógica.

Debido al fenómeno de cobertura de área efectiva operaciones digitales pueden ser comparadas con las analógicas a través del MHT, cuando las tecnologías coexisten. Las operaciones digitales dependen de una base sólida analógica.

Reportes de funciones. Las precedentes mediciones y fórmulas proveen el fundamento de cuatro categorías básicas para el desarrollo de reportes. Incluyendo los estándares para reportes de eventos sin fallas, reportes de importantes fallas, desarrollo de la movilidad y reportes de fallas leves que identifican las anomalías de una actividad típicamente asociada con la degradación de una llamada. Estos reportes no incluyen todos los reportes posibles o necesarios para la optimización de un sistema pero pueden considerarse la base estándar para un sistema. Información de actividades fallidas es proporcionada a través de porcentajes entre las relaciones de eventos anormales y los eventos exitosos. Algunos reportes pueden desarrollarse para proporcionar las características por sector / célula.

Los reportes que trabajan bajo esta categoría incluyen los siguientes puntos:

- Reportes sin fallas
 - Intentos de acceso- Originados y terminados por el móvil
 - Intentos completados- Originados y terminados por el móvil
 - Volumen de llamadas- incluye la actividad del handoff

- Fallas Importantes
 - Reporte de handoff unidireccional
 - Reporte de bloqueos
 - Reporte de fallas en el establecimiento de llamadas
 - Reporte de llamadas caídas
 - Reporte de handoff caído

- Funciones de movilidad
 - Mediciones de solicitudes de intentos
 - Reporte de handoff asimétricos
 - Reporte de amplitudes de ruido
 - Reporte de amplitud del RSSI en handoff
 - PCP reporte de optimización en handoff

- Fallas leves. Degradación de una llamada
 - Reporte de Interferencia IM
 - Reporte de Interferencia C/I
 - Reporte de Interferencia RBER
 - Reporte de Interferencia FBER
 - Reporte del promedio individual del tiempo de espera troncal/canal
 - Reporte del tiempo de espera célula/sector
 - Reporte de tiempo libre troncal/canal.

4. Metodología para la optimación de una red celular

4.1 Revisión del desempeño de la red celular.

Antes de proceder a la optimación de un red celular y como parte de nuestro algoritmo para esta actividad es importante realizar una revisión del estado actual de la red partiendo de las bases que se ocuparon en el diseño de ésta.

Paralelamente se debe realizar un análisis de las estadísticas de desempeño sin olvidar nunca los tres puntos generales que engloban o califican el desempeño y calidad de la red y que se describieron en el capítulo 3 (accesibilidad, continuidad e integridad).

4.1.1 Elementos de diseño

El diseño de un sistema celular tiene como objetivo maximizar la posibilidad de una llamada y la calidad de la misma, así como minimizar la inversión de tiempo y capital, requeridos para proveer un servicio óptimo.

Para su cumplimiento se requiere una metodología de diseño y optimación, la cual este sustentada en reglas y recomendaciones, es decir, de acuerdo a las limitaciones y alcances posibles del sistema en general, ya que poca información dará lugar a un diseño pobre mientras que demasiada contribuirá a un costo excesivo y a una pérdida de tiempo y recursos.

También es muy importante que la metodología sirva de guía para realizar un proceso ordenado y que permita ir obteniendo resultados mediatos para su retroalimentación y continuación del ciclo de optimación.

4.1.1.1 Limitantes

a) Físicas

En el diseño de un sistema es indispensable el conocimiento geográfico del área en interés, éste debe ser lo mas exacto posible.

La información del terreno como se menciona en el capítulo 2 deberá incluir topografía, morfología y datos locales. El terreno se utiliza para predicciones de propagación de RF por lo que estas bases deben tener diferentes resoluciones de acuerdo a los requisitos de cada área, para ser eficiente el costo y el tiempo de procesamiento, en el capítulo 2 se muestra una tabla con las

recomendaciones para las bases de datos en función del tipo de celda que se este elaborando y sistema.

La topografía puede considerarse "inmutable", pero los datos de la morfología y los datos locales pueden cambiar en periodos cortos de tiempo, por lo que se requiere una constante verificación previa a las actividades de diseño y optimación.

El conocimiento y la disposición de información adecuada del entorno físico nos permite anticipar las limitantes que tendrá nuestro sistema y su optimación.

b) Técnicas

En el diseño y optimación de la red existen variables técnicas que limitaran todo esfuerzo o iniciativa de mejora que no este apegada a una realidad de la infraestructura con que se cuenta.

Dentro de las limitantes técnicas contamos aquellas asociadas intrínsecamente a el equipamiento (radiobases, móviles, antenas, etc) que se esta ocupando.

Limitaciones de emisiones del equipo.

Condiciones de cobertura e interferencia están íntimamente ligadas a que cada estación móvil tenga limitada la potencia que transmite. La señal de RF emitida tiene que ser menor que un valor que depende de la banda de frecuencia. Los valores especificados se recogen en la tabla 4.1

Banda de transmision del móvil	Banda de recepción del móvil
Potencia transmitida no deseada<-60 dBm	Potencia transmitida no deseada<-80 dBm
825-845 MHz	870-890 MHz

Tabla 4.1 Banda de frecuencia inicialmente asignadas al sistema AMPS

Potencia de la unidad móvil.

Si P_0 es la potencia especificada y f_0 la frecuencia especificada y P y f son las potencias y frecuencias de operación respectivamente debe cumplirse que:

- El nivel de potencia P , en condiciones de portadora apagada, debe ser menor a -60dBm en intervalos de 2 ms.
- El nivel de potencia en condiciones de transmisión de portadora no debe diferir de P_0 en más de 3 dB en intervalos de 2 ms.
- El nivel de potencia en condiciones de portadora apagada debe ser menor de 60 dBm si $|f-f_0| > 1 \text{ kHz}$
- Los niveles de potencia transmitidos son la potencia radiada efectiva respecto al dipolo de media longitud de onda (PRA o potencia radiada aparente).

Hay tres tipos de estaciones móviles con las características de potencia que se recogen en la tabla 4.2

Tipo de potencia	P, nivel de potencia -0	Tolerancias
I	6 dBW (4.0 W)	$(8 \text{ dBW} \leq P \leq 2 \text{ dBW})$
II	2 dBW (1.6 W)	$(4 \text{ dBW} \leq P \leq -2 \text{ dBW})$
III	-2 dBW (0.6 W)	$(0 \text{ dBW} \leq P \leq -6 \text{ dBW})$

tabla 4.2 Características de la potencia

Cada estación móvil de tipo I tiene ocho niveles de potencia (numerados de 0 a 7) siendo el nivel 0 el de mayor potencia. Cada nivel tiene una caída de 4 dB (al pasar al siguiente nivel). El margen de control de potencia de las estaciones móviles de tipo Y es por tanto de 7*4=28 dB. Los códigos CMAC y VMAC indican el máximo control y la máxima atenuación respectivamente. En los tres tipos de estaciones el nivel de potencia 7 es de -22 dBW (o sea 8 dBm o 6.3 mW).

b) Cobertura

Durante el desarrollo del diseño y optimación de la red muchos esfuerzos de mejora se verán afectados por la cobertura de la red.

La metodología utilizada para determinar las zonas de cobertura de cada sitio celular se obtienen a través de simulaciones o predicciones de la propagación de RF, recordar la relación que existe entre cobertura y tráfico en una red móvil.

Las predicciones más comunes que facilitan el diseño y optimación de la red son:

- Cobertura individual por sector de transmisión para la administración de canales de tráfico.
- Cobertura individual por sector de recepción para la administración de canales de tráfico.
- Cobertura total de transmisión del sitio para la administración de canales de tráfico
- Cobertura total de recepción del sitio para la administración de canales de tráfico
- BER
- Mejor servidor
- Número de servidores
- Tipo de servicios
- Handoff
- Interferencia co-canal
- Interferencia adyacente
- Interferencia total

d) Trafico

Para el caso de una red TDMA la satisfacción del tráfico se ve limitada por diferentes factores como: el número de canales de tráfico, las frecuencias asignadas, los parámetros de *handoff* y la distribución de cobertura relacionada a tráfico.

e) Servicio

Dependiendo del tipo de servicio (interior, exterior, en auto) que se provea y en que área de cobertura, esto influirá en nuestras prioridades y limitantes al momento de diseñar y optimizar un red.

Las demandas de cada región se basan en los estudios demográficos, sin embargo el éxito de un sistema se sustenta en conformar una red uniforme, capaz de proveer los mismos servicios a todos sus clientes.

f) Legales

Existen limitaciones legales dependiendo de cada región política (estados, municipios, delegaciones, etc) para el despliegue de redes celulares.

Estas limitaciones pueden marcar criterios a seguir para el diseño y optimación de redes que desde el punto de vista técnico no sean las mas recomendables, sin embargo de no ser así la instalación de las redes no será posible.

4.1.1.2 Objetivos a cumplir por el sistema

Antes de realizar cualquier tarea de optimación se tendrá que recurrir en todo momento a los objetivos que el diseñador concibió en la creación de la red. Estos objetivos se pueden agrupar en tres categorías generales, cobertura, tráfico y tipo de servicio.

a) Cobertura

La mayoría de los subscriptores actualmente utilizan los móviles para servicios clase III, para cubrir sus requerimientos de una buena cobertura en edificios, la cobertura de las células idealmente deben diseñarse para -85 dB de la recepción de la señal en las fronteras exteriores.

Con la llegada de los teléfonos de la clase IV IS-136, este requisito es aún más importante.

Las consideraciones de AMPS (analógico) y D-AMPS (digital) para cobertura son equivalentes, con excepción de la sincronización impuesta por TDMA la cual limita efectivamente el radio máximo aproximado de una célula digital a 50 km a diferencia de 110 km para analógico.

Esta limitación de sincronización se debe a los requisitos de un tiempo individual de sincronización de cada ranura de tiempo (time slot) desde la separación de la estación móvil utilizando la misma frecuencia.

Un máximo de 310 μ seg de retardo puede introducir la alineación de la ranura de tiempo de la estación móvil con las tramas del canal de voz. Es por tanto posible que la cobertura digital de largas áreas de células rurales sean menores a la cobertura analógica existente (especialmente cuando en estas áreas el nivel de la señal es menor a -85 dB). Debe tomarse en consideración para asegurar que sea suficiente el nivel de la señal que se provee.

Las estaciones móviles digitales pueden sufrir otro efecto del tiempo de dispersión. En general las transmisiones entre las estaciones móviles y la estación base se reflejan por numerosos objetos y llegan a las antenas en diferentes tiempos. Los ecualizadores pueden identificar cualquier retraso menor a 40 μ sec, y combinarlos para obtener una señal principal. Si un mayor reflector existe que contribuya en 18 dB a la señal principal y el retraso por mas de 40 μ sec, el ecualizador no trabajaría correctamente. Un retraso de 40 μ sec corresponde a una distancia de aproximadamente 12 Km donde el lóbulo principal puede estar obstruido, lo que significa para la dispersión en el tiempo un gran problema. En la práctica, los efectos del tiempo de dispersión en los sistema TDMA son raros.

Cobertura y calidad de la voz.

Las mediciones de la calidad de la voz se valúan en términos de portadora interferencia (C/I), para co-canales o canales adyacentes. En general, las llamadas analógicas con una relación de 17 dB o mas (correspondientes a una relación señal a ruido (S/N) aproximada de 28 dB), puede considerarse una llamada con buena calidad. La interferencia y una señal con bajo nivel permiten escuchar ruido en una llamada analógica.

Un C/I de 17 dB corresponde a un 3% BER (Bit Error Rate) para una llamada digital. Este último valor se determina a partir de un muestreo estadístico de las comparaciones de calidad subjetiva entre llamadas analógicas y digitales.

Una comparación directa del C/I con el porcentaje del BER no es necesaria. Ya que un porcentaje de 1% BER determina una baja calidad de la llamada dependiendo de la naturaleza del evento del BER. Las llamadas digitales que sufren de un BER mayor a 3% se ven afectadas por la distorsión de la voz y una completa anulación bajo condiciones extremas ver tabla 4.3

BER (%)	< 1%	1 - 3 %	> 3%
C/I (dB)	>20	20 - 17	< 17

4.3 Correspondencias BER vs C/I

La distorsión digital de la voz ocurre cuando un número insuficiente de bits en el codificador se reciben correctamente, no todos las cadenas de bits están protegidas por el código de redundancia cíclica (CRC Cyclic Redundancy Code). La anulación ocurre cuando los bits CRC se pierden o una trama completa. La calidad de la voz es afectada en la recepción y en la transmisión de una señal por la interferencia causada por otras portadoras o bien por ruido. Por consecuencia se tiene que el intervalo de calidad de una llamada analógica o digital es diferente, como puede observarse en la gráfica 4.4 en donde es evidente que la degradación de la voz digital es mas extrema una vez en 3% del BER correspondiente a 17 dB de la relación C/I.

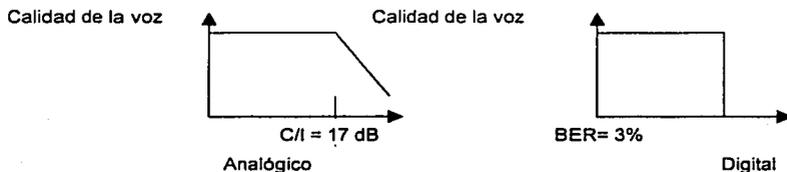


Figura 4.4 Graficas de degradación relativa de la calidad de la voz entre analógico y digital

Planeación de frecuencias en la Cobertura

Para maximizar el reuso de frecuencias y así paralelamente la capacidad del sistema, es importante limitar en lo posible las áreas de cobertura y traslape no necesarios, que solo contribuyen a un incremento de la interferencia co-canal y adyacente, disminuyendo la calidad de la llamada y el éxito de esta. (*Integridad*)

Por otro lado también provoca el incremento de accesos múltiples y los problemas de localización, reduciendo el éxito de una llamada completada. (*Accesibilidad*)

Para evitar el otro extremo, se debe asegurar que un buen nivel de señal esta presente en las fronteras, tanto con las vecinas analógicas como digitales, ya que una baja intensidad de la señal en la frontera provocaría llamadas caídas en el proceso de traspaso de llamada. (*Continuidad*)

El traslape en cobertura es inherente cuando se asocian microcélulas o picocélulas con macrocélulas, o bien cuando se utiliza estructuras celulares *overlay /underlay*, por lo que los efectos negativos e esta situación se resuelven a través de la designación y uso apropiado de parámetros para el control de la asignación de canales de voz y recursos existentes para definir relaciones de estructuras jerárquicas. (*Accesibilidad*)

Gracias al control del área de cobertura se puede maximizar el reuso de frecuencias, la capacidad celular y la calidad de la llamada.

Pero se requiere de otros factores que intervienen en el control, como son:

- Altura de la antena
- Ubicación de la antena
- Ganancia y patrón de radiación (directividad) de la antena
- Inclinación mecánica o eléctrica del patrón de radiación de la antena
- Potencia del transmisor

La altura de la antena y su localización son factores críticos que determinan el tamaño del área de cobertura tomando ventaja de las condiciones naturales y de las estructuras hechas por el hombre. La altura de la antena debe ser la más baja posible para evitar que cause interferencia. Para situar alternativas antenas y alturas se deben realizar previamente predicciones con la herramienta de RF para comparar con las existentes.

La ganancia de la antena y directividad pueden utilizarse para ajustes finos del área de cobertura efectiva del sitio. El uso de una antena directiva en lugar de antenas omni-direccionales determina la forma y el tamaño de un área de cobertura que puede controlarse. Para un sitio sectorizado en tres, los cuales se localizan a 120 grados se recomienda que el ancho del haz sea de 60 a 80 con lo que se minimiza el traslape innecesario entre los sectores.

Existen dos tipos de inclinación en las antenas para controlar la cobertura y sus efectos negativos como el traslape innecesario y la interferencia. La inclinación puede ser mecánica o eléctrica o ambas, la mecánica aplica solo en el caso de antenas directivas en sectores y la eléctrica aplica para las células sectoriales u omnidireccionales. Esta última es preferible debido a que el lóbulo posterior del patrón de radiación de la antena también se inclina. El contar con opciones para limitar la cobertura de una celda como la inclinación no sustituye la eficacia de una correcta localización del sitio y de la configuración de la antena.

Otro recurso par el control de cobertura es minimizando la potencia radiada solo a la necesaria par establecer un balance adecuado del enlace de esta forma se reducen la interferencia de co-canal y adyacente en la transmisión sobre otras células del sistema. A continuación se muestra un tabla comparativa de potencia transmitida o potencia radiada efectiva (ERP) dependiendo de la localización del sitio ver tabla 4.5.

Tipo de Sitio	Localización del Sitio	Potencia Máxima de Transmisión
Pico	En interiores	300 m ² V
Micro	Urbano	1 W
Macro	Urbano	5 W
Macro	Sub- Urbano	10 W
Macro	Rural	50 W

Tabla 4.5 Potencia recomendada para cada tipo de servicio

Se recomienda que la potencia de transmisión tanto de los canales de control como de voz analógico o digital para cada célula sea la misma (a menos de que se utilicen topologías para células *overlay/underlay*), para que el establecimiento y el traspaso de llamada no presenten irregularidades entre los dispositivos analógicos y digitales. (*Accesibilidad y Continuidad*)

b) Capacidad (tráfico)

La capacidad de una red celular TDMA para sustentar llamadas con una calidad suficiente de voz, es primordialmente determinada por la configuración, localización y por el número de canales de voz (analógico y/o digital) asignados a cada célula.

El número de canales de voz analógicos y digitales debe determinarse de acuerdo a:

- La capacidad del plan de frecuencias
- El conocimiento de las reglas de diseño para las células vecinas conforme a los márgenes de C/I y C/A
- Conocimiento del funcionamiento del equipo

La capacidad máxima para cada sector se puede limitar preferentemente a un solo grupo de frecuencias, aunque debido al avance en los equipos se pueden asignar frecuencias de manera pseudo-aleatoria capaz de repetirse, minimizando las distancias de reuso.

Para la planeación de grupos el número de frecuencias asignado para cada uno es determinado por el patrón seleccionado (9/27, 7/21, 4/12, etc). Aunque desde el punto de vista de diseño es posible la asignación de frecuencias en un mismo sector o celda simplemente siguiendo la reglas de co canal y adyacente, en las redes implementadas y debido en gran medida al tipo de combinadores y sistemas de antenas la asignación deberá tomar en cuenta las limitantes de estos sistemas.

Para optimizar la calidad de la red, cada célula debe configurarse con el número apropiado de radios analógicos y digitales para enfrentar el tráfico en la hora pico, manteniendo el grado de servicio deseado (GOS) para cada célula bajo condiciones normales de operación. Hay que recordar que se utiliza la distribución de Erlang B para obtener el número de canales que garanticen un GOS del 2 al 5%. La distribución requerida de radios analógicos y digitales se determina del análisis de las estadísticas de tráfico en las rutas y asignaciones de canales de voz.

La capacidad de un canal de voz en redes híbridas (analógico/digital) TDMA se incrementa asegurando que el máximo número de usuarios utilice digital; gracias a que cada llamada analógica puede sustituirse por tres digitales.

El análisis de tráfico en la red debe de realizarse de forma continua para poder anticiparse al escenario de saturación o congestión de la red. El incremento en la capacidad puede implementarse en forma de células adicionales, subdivisión de una célula, adición de microcélulas o picocélulas, o bien a través de la sectorización de células omnidireccionales existentes.

Grandes redes celulares tienen una interfaz limitada; la capacidad del sistema para mantener exitosamente llamadas con calidad de voz suficiente se ve limitada por la interferencia en recepción y transmisión. Provocando llamadas caídas debido a los altos niveles de interferencia o dispositivos bloqueados.

Tipo de servicio

Antes de continuar se debe definir que se entiende por tipo de servicio y porque se consideran tres tipos de servicio: en interiores, en un automóvil y en el exterior.

Se define como aquella área de servicio que cumple con:

$$NS = SEM + P_p + MD$$

donde

<i>NS</i>	<i>es el nivel de señal</i>
<i>SEM</i>	<i>es la sensibilidad del móvil</i>
<i>MD</i>	<i>es el margen de desvanecimiento</i>
<i>P_p</i>	<i>son las pérdidas por penetración y contacto del cuerpo</i>

Dependiendo del servicio que se quiera proporcionar hay que considerar las pérdidas necesarias y el margen de desvanecimiento adecuado, con esto se definen los niveles de señal requeridos para brindar cada uno de los diferentes servicios.

Una vez que se han definido los contornos para cada tipo de servicio, podemos obtener el área teórica de cobertura de cada una de las zonas que se tienen con cada contorno. Para hacerlo se necesita del valor de *Path Loss* obtenido en el cálculo del *Link Budget* (recordar que se realiza un *Link Budget* para cada tipo de servicio) y de las pérdidas de propagación. Para el calculo de las pérdidas de propagación se utiliza el modelo de Hata basado en las mediciones estadísticas de Okumura.

4.1.2 Auditoría física de la red

A todo análisis de desempeño de una red debe preceder una auditoría física la cual mostrará el funcionamiento del equipo y las mediciones reales correspondientes a cada dispositivo involucrado. Ya que muchos de los parámetros de las radio bases que dependen de la configuración se utilizan para controlar y optimizar el desempeño del móvil, por lo que se deben tener fuentes verdícas que corroboren que lo que se define coincide con lo real,

Todos los parámetros y funciones asociadas con la optimación de RF son totalmente dependientes de la configuración del hardware de la radiobase como son:

- Altura de cada antena sobre el nivel medio del terreno.
- Orientación en grados respecto al norte magnético en el plano horizontal (acimut) de cada antena.
- Orientación en el plano vertical (inclinación/downtilt mecánico)
- Separación de antenas para calculo de diversidad por espacio en caso de existir.
- Tipo de antena (modelo y fabricante)
- Longitud de las líneas de transmisión.
- Tipo de línea de transmisión (modelo y fabricante)
- Configuración de la radiobase
 - Modelo y fabricante
 - Número de transreceptores
 - Configuración de radios (analógico o digital)
 - Potencia en funcionamiento y máxima de cada radio
 - Tipo de combinadores

La información anterior alimenta las herramientas de diseño de la red por lo que una correcta correlación entre lo implementado en cada sitio y la base de datos de estas herramientas permite la generación de reportes y estudios para su análisis y toma de decisiones en el proceso de optimación.

Un mantenimiento periódico de las bases de datos, debe realizarse para asegurar que los parámetros de RF y las configuraciones utilizadas en el sitio y conmutador reflejen las condiciones reales de la red y su apego al diseño.

Se puede realizar una auditoría mas completa que incluya todos los elementos de la red que no intervienen en la interfaz de acceso como es el sistema electromecánico, obra civil, etc. Sin embargo para los propósitos que se buscan en un optimación de RF es suficiente con lo mencionados.

4.1.3 Auditoría de bases de datos en el conmutador

A todo análisis de desempeño de una red debe también preceder una auditoría de datos que se encuentran cargados en el conmutador.

El propósito de la auditoría de la base de datos son dos:

- Verificar la red diseñada corresponda a los datos de la red actual
- Verificar parámetros de RF y el conocimiento de las reglas de los parámetros.

Las especificaciones erróneas en los datos y la violación de las reglas de diseño pueden eliminarse fácilmente a través de una auditoría.

a) Auditoría de los datos de una célula

La auditoría de una célula debe cubrir todos los aspectos de la configuración, incluyendo las siguientes categorías:

- Configuración de datos de un sitio
- Datos de los dispositivos de una estación base y el conmutador
- Listas de células vecinas y de *directed retry* (células alternativas para un traspaso de llamada por congestión en los recursos de las células vecinas)
- Parámetros de la estación base

Las aplicaciones de RF que deben considerarse durante una auditoría de los parámetros de las radio bases y la configuración de los datos incluye:

Datos de dispositivos.

- Cada célula contiene al menos un canal de control, un respaldo, y al menos un canal de voz .
- Si la célula tiene capacidad analógica, un MLOC y un respaldo de MLOC es definido
- Si la célula tiene capacidad digital, un MVER es definido
- RILTs, MDEQs, y MDVC se definen así como los dispositivos digitales

Datos de frecuencias

- Las asignaciones del canal de control son exclusivas
- Las asignaciones a los canales de voz corresponden son exclusivas
- El respaldo de los canales de control se asignan con la misma frecuencia de su canal principal
- No se deben realizar asignaciones de células adyacentes o co-canales con una célula, o en un sitio.

Reglas generales de los parámetros de una radiobase

- SSACC y SSREG son iguales para el modo analógico y digital
- Compensación SSACC, SSREG son mayores a cero
- SSB es al menos 17 dB abajo del SSI para el modo analógico y digital
- PLC, PLV, y PLVM deben coincidir para el modo analógico y digital
- (SSD-SSI) no debe ser menor que 8 para las ventanas de control de potencia para los modos analógico y digital
- SSI analógico debe coincidir con SSI digital
- SSH debe estar en 2 dB para ser el punto medio de la ventana de potencia para el modo analógico
- SNR debe establecerse mayor a 10 dB
- CIH debe establecerse mayor a 17 dB
- SNH debe establecerse mayor a 28 dB
- SSMIN debe estar en 10 AXE para el modo analógico y digital

Reglas generales para la configuración de una célula

- Todas las vecinas analógicas y digitales deben definirse mutuamente.
- La definición del SAT no debe ser la misma en vecinas analógicas.
- No definir canales de voz adyacentes para las vecinas analógicas.
- El número de definición de vecinas debe limitarse a 12 en modos duales de una red.
- La histéresis de una transferencia de llamada *handoff* de células analógicas debe sumar en total + 6 dB.
- No definir una misma vecina con co-canales de voz digitales y analógicos.
- No mediciones co-canal para el MAHO en las vecinas digitales.
- No definir canales adyacentes para el MAHO de una vecina digital.
- La histéresis de una transferencia de llamada *handoff* de células digitales debe sumar en total + 10 dB
- Las vecinas digitales deben tener una contraparte para redes duales
- Las mediciones de los canales (MCHNR) no deben corresponder a las asignaciones del canal de control analógico.
- Los parámetros de las células en diferentes áreas deben definirse mutuamente en los respectivos conmutadores.
- La definición de las DCELL pueden establecerse solo si están definidas como células vecinas.

4.2 Algoritmo de Optimación.

El objetivo de un algoritmo de optimación es presentar una metodología lógica e iterativa que permita ir mejorando el desempeño de la red a cada cambio que en esta se realice. También este algoritmo sugiere llevar un registro ordenado de los cambios y modificaciones que sufre la red así como los resultados que se tengan con la utilización continua de reportes y estadísticas de desempeño.

Todos los elementos de una red celular pueden implementarse utilizando parámetros estandarizados al inicio. Debido a que estos elementos interactúan con otros, deben ser ajustados u optimizados periódicamente. El ajuste de una red es un proceso continuo debido a que una red celular es dinámica es decir el volumen y distribución de tráfico cambian, las fallas en el equipo ocurren y la expansión del sitio, de la red o bien la configuración del software cambia constantemente. Así como la introducción de un nuevo conmutador, de nuevos servicios, parámetros y algoritmos, podría requerir una optimación adicional.

Todas la aplicaciones de RF y modificaciones de una red deben aplicarse solo como resultado de una medición y análisis del desempeño de la red. Las estadísticas son la base de todos los análisis y mejoras de una red las cuales provienen del conmutador, de las pruebas de campo y del móvil. El éxito de las mejoras de una red, en forma de cambios a los parámetros, alteraciones en los datos de las células, cambios en la configuración, se confirman a través de continuos ciclos de mediciones en el desempeño y análisis.

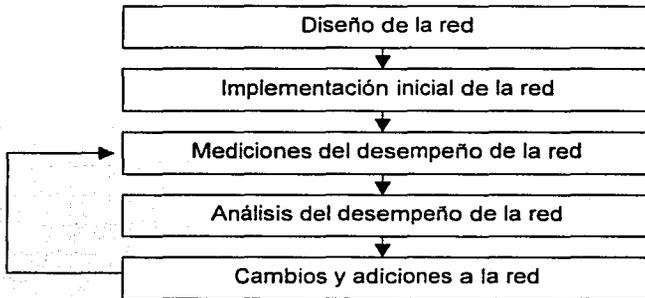


Figura 4.5 Flujo del algoritmo de optimación

La implementación es seguida de mediciones y análisis repetidos, aplicable a cualquier escala de un elemento de la red, desde la red entera o en forma individual a cada dispositivo. La implementación inicial, y el ciclo de mediciones y ajustes, puede aplicarse a nuevos planes de frecuencias, sectorizaciones de sitios celulares o nuevos sitios y a expansiones de canales.

Reglas aplicables a una red

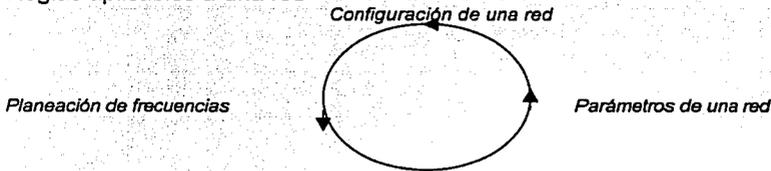


Figura 4.6 Factores que afectan al calidad de una red analógica y digital

Cada uno de estos factores anteriores están interrelacionados.

Como un ejemplo, la optimización de la calidad de la red en términos solamente de parámetros de una célula como técnica de ajuste experimental sería una pobre calidad, el operador de la red debe considerar hacer cambios en la configuración en los sitios nuevos o existentes. Consecuentemente un cambio en la configuración o en las frecuencias, requerirá nueva definición de los parámetros, una vez determinado este criterio, se comienza el sistema de modificación y ajuste fino.

Cambios y adiciones a la red.

Las acciones resultantes de la fase de análisis y detección frecuentemente identifican anomalías de distinta naturaleza, las cuales pueden utilizarse como herramientas para la detección de fallas, para la calibración o para revisión del llenado de datos con errores u omisiones.

Un proceso ordenado y lógico es necesario, el cual una vez aplicado proveerá remedios a las anomalías. El propósito es seleccionar estas anomalías que tienen una solución inmediata pero que requieren de un proceso iterativo para obtener un desarrollo óptimo.

Existen varios sistemas que requieren un proceso iterativo de optimación, por lo tanto el proceso empleado intenta determinar una serie de ajustes primero, mientras que permite que los efectos sean observados para realizar un ajuste fino en caso de requerirse, por lo que el desarrollo de los ajustes puede ser clasificado en dos categorías de acuerdo a la facilidad de implementación en acciones *inmediatas* y *a largo plazo*.

Recordemos en este momento que la revisión del desempeño de la red queda englobada en tres grupos generales: Acceso, Integridad y Continuidad. Sin embargo cada uno de ellos se encuentra íntimamente relacionado entre si por lo que podemos ir mejorando mas de uno al realizar cambios en la red.

Otra propuesta de división puede ser la siguiente, siempre y cuando al final sean las tres características de desempeño que establecimos las que sufran una mejora. La lista siguiente menciona el grupo (tráfico, RF, etc) y las acciones a revisar en la optimación.

Optimación del Tráfico

- Acceso / Movilidad recursos bloqueados

Optimación RF

- Falta de cobertura (RF)
- Exceso de cobertura (Path Balance)
- Control de la interferencia
 1. Plan de frecuencia
 2. Movilidad
 3. Inconvenientes
 - Doble mensaje de control
 - SAT control falso

Optimación en la movilidad

- Partición de células para la optimización de la transferencia *handoff*
- Redistribución del tráfico
 - o Mensajes LCR

Optimización de la Red en sus fronteras

- Voceo (capacidad)
- Registro (capacidad)
- Traspaso entre sistemas (Handoff)

Para establecer un proceso efectivo a través de ajustes inteligentes se requiere enfocar los elementos del sistema, la calibración, los operadores y los controles como un paso preliminar, todos ellos nos permiten obtener estadísticas del desempeño y recursos de la red.

4.2.1 Análisis y optimación de cobertura

Como un paso inicial del algoritmo de optimación se realiza un análisis de la cobertura apoyándose principalmente en el uso de herramientas de diseño de redes inalámbricas como las que se describen en el capítulo 2. Es importante recordar que el proceso de ajuste de la herramienta de diseño juega un papel primordial en los resultados que se obtenga así como en la decisiones que se hagan en base a estos resultados por lo que será un punto principal asegurar que la herramienta cuente con la información adecuada para generar resultados confiables para la toma de decisiones.

Come se vio en el capítulo 2 existen diferentes modelos dependiendo de la información que se este utilizando. Así los modelos empiricos (Okumura, Lee) resultan de utilidad cuando estamos trabajando con macroceldas cuya área de acción es de un radio mayor a 10 km, la ventaja de esto modelos es que no requieren de bases de datos complejas por lo que el tiempo de procesamiento es muy rápido y los resultados son buenos cuando se evalúa el costo-beneficio. Sin embargo los modelos empiricos resultan pobres cuando se esta trabajando en ambientes urbanos y suburbanos donde los radios de cobertura esta muy por debajo de los 5 km, para este caso es mas recomendable el uso de modelos semideterministicos en los que las bases de datos de morfología aportan un mejor modelado del entorno. Finalmente para el caso de microceldas en exterior resultan mas adecuados los modelos deterministicos con el inconveniente de requerir mejores y mas completas bases de datos asi como un mayor tiempo de procesamiento, no obstante los recursos que se invierten son retribuidos en la precisión de los cálculos necesarios para tomar decisiones y modificaciones para estos escenarios.

Una vez que se ha realizado un análisis con las herramientas de diseño existen diferentes técnicas de control se aplican a la optimación de RF como un remedio inmediato, estos cambios se puede simular en algunos caso con la ayuda de la herramienta de diseño para ver los efectos en la red.

Estático (Sistema)	-División celular -Sectorización -Células subordinadas
Estático (Célula)	-ERP de la estación base VMAC, VSAC Tipo de antena Altura de la antena Inclinación mecánica de la antena Orientación de la antena LNA (reducción del ruido)
Dinámico	Potencia de control del móvil Potencia de control de la estación base Umbral del handoff Influencia del handoff ACA ₁ - ruido acumulado en el canal ACA ₂ -C/I, BER handoff Umbral de accesos
Moderados	Reuso de frecuencias Selección del SAT/ DVCC Asignación adecuada del canal Asignación de frecuencia dinámica Designación de células Asignación de handoff en reserva

La prioridad de la ingeniería de RF es aplicar cualquier técnica de control de RF que afecte en gran medida sin provocar coberturas nulas. Existen otros objetivos de una ingeniería RF en relación con la prioridad.

- 1.- Determinar la cobertura RF (a través de un criterio de diseño)
- 2.-Control en la Interferencia - determinar el plan de frecuencias
- 3.- Control en la Interferencia - determinar la movilidad

La aplicación de algunos de los métodos permite reducir el área de cobertura efectiva de la célula interferida sin crear cobertura nula. La definición de la cobertura nula debe ser balanceada contra el criterio de diseño establecido de RF, esta precaución debe ser considerada con la finalidad de no solucionar una anomalía en el sistema con otra anomalía.

Considerando algunos de los efectos de la cantidad de técnicas de control de RF se puede prepara al operador para tomar un decisión mas informada con el modelado o modificación del diseño de RF de una célula. La dinámica de cada escenario puede ser considerada cuando se escoge una técnica de control.

4.2.2 Optimización del tráfico

Congestión de un canal de voz

La insuficiente capacidad de canales de voz se refleja en las estadísticas de los intentos de acceso debido a la inhabilidad de establecer llamadas, o bien muestran significativas anomalías en la finalización de una llamada. Se pueden definir otras células para realizar transferencias de llamada en casos de congestión conocidas como *directed retry* (DCELL) las cuales disminuyen la congestión de una célula. Un *directed retry* exitoso es el resultado de la asignación de un canal de voz no óptimo, en un área donde probablemente esta sujeto a un aumento en la interferencia co-canal o adyacente. Esto puede contribuir a una baja calidad de la llamada o anomalías en la terminación de la llamada. Si no se utilizan *directed retry* o si fallan los establecidos , se tiene como resultado células congestionadas con fallas en las asignaciones de canales de voz.

La congestión en un canal de voz debe considerarse por separado para un canal de voz analógico o digital. El algoritmo de asignación de canales (Voice Channel Handling VCH) puede asegurar para IS-54 o para D-AMPS inicializar directamente con un canal de voz digital. En el caso de no contar con canales digitales, la asignación de un canal analógico puede implementarse. Consiste en definir los parámetros para asignarle al móvil determinado orden de canales considerando principalmente de la banda extendida. Los operadores pueden utilizar este algoritmo para manipular la prioridad en la asignación de canales y un móvil de banda dual tiene más posibilidad de acceso.

Fuentes de congestión

La congestión en los canales de voz no es la única fuente que afecta la calidad de la voz, existen otras que contribuyen al establecimiento y seguimiento de una llamada en completa calidad como :

- Congestión en los canales de voz analógicos
- Congestión en el canal de control en recepción y trasmisión
- Congestión en el enlace de la estación base al conmutador
- Congestión en los canales de voz digitales
- Congestión en los canceladores de eco
- Congestión en las rutas entre el conmutador y el HLR
- Congestión entre el conmutador y la red pública conmutada
- Congestión en la fila de voceo

Los archivos de tráfico pueden utilizarse para identificar las fallas para cada una de las fallas enunciadas. Los cuales consideran los niveles de congestión aceptados menores nominalmente al 0.1% de servicio erlang B.

Acceso y movilidad / Bloqueo de los recursos

La optimación del tráfico es fundamental en el funcionamiento de una llamada cuando el diseño inicial del sistema no provee suficientes troncales y canales de voz. El bloqueo a los accesos se debe a diversas razones, entre las cuales están las anomalías del tráfico , fallas en el equipo, fallas de trasmisión en las antenas, congestión en los canales de control así como insuficientes canales que proveen direcciones al tráfico normal captado.

A través de un monitoreo efectivo se pueden detectar los dispositivos bloqueados. Los accesos a dispositivos bloqueados no se atribuye a la inhabilidad de las terminales para el acceso al RECCH (ocupado (busy) / libre (idle)) sino a través de mensajes de "reorder" o "directed retry" enviados al FOCCH después de un intento desde la terminal de accesos.

Desde la optimación en base a los esfuerzos de estimar la cobertura y reducir la cobertura en áreas donde se tiene un traslape innecesario de RF, el no tener un enlace balanceado puede agravar un existente bloqueo de los recursos. Por lo que debe considerarse al "directed retry" como una solución inmediata de último recurso. La medición de los dispositivos bloqueados debe estar determinada por el número de reorder o directed retry .

Los eventos de bloqueo deben trabajarse paralelamente con el tiempo promedio de espera para asegurar que dichos bloqueos no sean una consecuencia directa o indirecta de fallas en el equipo de otra célula, estableciendo una correlación. Una vez omitida las fallas del equipo como una causa potencial de bloqueo, se pueden enlistar soluciones a corto y largo plazo, de acuerdo a las ventajas y a la eficacia.

Soluciones inmediatas

Primer paso. Valoración de la canalización actual desde los reusos de frecuencias. Exceso de los canales ofrecidos (sobreequipamiento) en una célula la cual tenga problemas de bloqueo. Reestablecimiento de canales de acuerdo al uso con un monitoreo en los efectos.

Monitoreo. El bloqueo puede observarse en base a los reorder o a los directed retry.

Si no es posible agregar canales debido a las limitaciones de la trama , a las frecuencias o a los requerimientos de fraude, se requiere una redistribución de tráfico. La redistribución de tráfico en un área donde hay intersección de cobertura de RF de dos células que trabajan apropiadamente, es un requisito que permite la redistribución del tráfico bajo el concepto de reducir el área efectiva de cobertura de una célula que experimenta bloqueo.

Segundo paso. Después de reducir el área efectiva de cobertura traslapada y subsecuentemente los bloqueos se disminuye el ERP del FOCCH en pasos de 3dB. Esto debe realizarse en conjunto con la RF traslapada con la finalidad de no dejar áreas sin cobertura.

Observación: si el FOCCH ERP se cambia deben tomarse mediciones para las operaciones de movilidad que permitan prevenir que los accesos se completen en las células adyacentes al realizarse un handoff .

Monitoreo. El bloqueo como también las fallas de una llamada establecida (stimeout) deben observarse para asegurar la reducción en el bloqueo y no un incremento en efectos negativos.

Paso tres. Después de verificar la cobertura de traslape efectiva el segundo método para reducir el área de cobertura efectiva es forzar a que se realice el handoff antes en estas células que poseen suficiente traslape. Se debe tener cuidado con los valores de PCPTL en relación al ERP.

Observación: alterando el área de cobertura efectiva del patrón de regreso a través de parámetros de handoff o VMAC puede persuadirse a un par de células que no requieren de una modificación del FOCCH ERP para completar las operaciones.

Monitoreo. El bloqueo al igual que los handoff y las diferencias de ruido deben observarse para asegurar una operación bidireccional libre de conflictos.

Paso cuatro. Después de verificar la cobertura de traslape efectiva el tercer método es reducir el área de cobertura efectiva a través de habilitar el "directed retry".

Este método debe tomarse como una última alternativa, debido a su ineficiencia.

Los pasos 2 y 3 son efectivos para *todas* las células, a diferencia del *directed retry* el cual solamente afecta a las llamadas una vez que lograron acceder a la célula. Por lo que el bloqueo no se elimina sino es a través de una ruta alternativa en la cual la percepción de un usuario de bloqueo es alterada.

Monitoreo. La reducción del bloqueo, cuando se habilita el *directed retry*, no puede ser valorada a través de la habilidad de la llamada de terminar en otra célula. Efectos negativos se registran en el establecimiento de llamadas a través del "*directed retry*".

Soluciones a largo plazo.

Se pueden considerar los siguientes pasos como soluciones a largo plazo:

- 1.- Adición de nuevas tramas
- 2.- Incremento de microcélulas o minicélulas
- 3.- Incremento de macrocélulas
- 4.- Alternar tecnología (DCA/ ACA)

4.2.3 Relación Cobertura –Tráfico, en un red inalámbrica

Pruebas de Campo.

El objetivo de las pruebas de campo es coleccionar y gravar mediciones de las intensidades de las señales, mejor servicio, relaciones C/I y S/N, BER para analógicas y banda-dual en un área geográfica.

Las pruebas de campo son parte crítica en las mediciones de una red celular y de la optimación, porque proporcionan las mediciones del desempeño en la transmisión, conjuntamente con las estadísticas proporcionadas por el MSC que se basan en las mediciones del desempeño en la recepción

La información coleccionada puede ser:

- Verificación del modelo de propagación de la frecuencia y la cobertura deseada, sólo hay que tener cuidado en la definición de las rutas.
- Medición y optimación de desarrollo de la transferencia de llamada *handoff* analógico y digital.
- Medición y disminución de la interferencia co- canal y adyacente
- Medición y optimación de las características de acceso del sistema analógico y digital.
- Medición y optimación del origen de llamada y terminación de un móvil analógico o digital.

Esta información en conjunto se obtiene de dos tipos de recorridos: pruebas de llamadas largas y llamadas cortas.

Pruebas en llamadas largas.

Durante las pruebas de una llamada larga, el mínimo número de llamadas establecidas se intenta, idealmente una sola larga llamada se realiza moviéndose por diversas áreas del sitio en interés. En una red dual los móviles se separan en analógico y modo dual.

Esta prueba se utiliza para verificar:

- Características de la cobertura de la célula (*Accesibilidad*)
- Características del C/I para el modo analógico. (*Integridad*)
- Cobertura y características del BER para el modo digital. (*Accesibilidad e Integridad*)
- Control del MLOC en modo analógico para el desarrollo de un traspaso de llamada. (*Continuidad*)
- Control del MAHO en modo digital para el desarrollo del traspaso de una llamada (*Continuidad*)

Estas pruebas permiten realizar una comparación con los operadores competidores, en la calidad y la cobertura. Las pruebas de cobertura no se requieren realizar durante las horas pico. Sin embargo, en una red con congestión y *directed retries*, el área efectiva de algunas células puede cambiar. (*Integridad*)

Calidad de la llamada e interferencia. Otra medición que se puede realizar durante una prueba de llamada larga es la interferencia.

Para un canal analógico de una estación móvil, la relación C/I y S/N puede medirse y grabarse durante la prueba. El hecho de realizar la prueba en la hora pico, provee una mejor impresión de los problemas de interferencia, ya que se esta usando en la red la mayoría de las frecuencias.

Analizando C/I y S/N, y de acuerdo al plan de frecuencia, se pueden determinar cambios en la configuración o en las frecuencias, para prever estas interferencias.

Para los móviles digitales, la interferencia se indica a través de las mediciones del BER. Comparando simultáneamente con las llamadas largas analógicas ayuda a identificar posibles interferencias co-canal o adyacente. (*Integridad y Continuidad*)

Calidad de la llamada y desempeño en la transferencia de una llamada handoff. El último componente de las pruebas de largas llamadas es medir y optimizar el

desarrollo de un handoff. Durante una prueba de llamada larga, la medición de la intensidad de la llamada y los criterios de interferencia en el handoff deben compararse con lo ideal o el handoff esperado. Al realizar las comparaciones de la intensidades de señales de la célula eventual con las candidatas al handoff, se pueden identificar vecinas faltantes o definidas incorrectamente. Así, como las mediciones erróneas de un co-canal de voz analógico medido por una estación móvil o un MAHO co-canal medido por una estación móvil digital.

Pruebas de llamadas cortas. Consiste en realizar gran cantidad de intentos de llamadas cortas, desde un móvil. Se recomienda desarrollar la prueba tanto en modo analógico como dual. Los objetivos son:

- Accesos e intentos del establecimiento de llamada inicializada por un móvil en modo analógico
- Accesos e intentos del establecimiento de llamada inicializado por un móvil en modo digital
- Accesos e intentos en el establecimiento de una llamada finalizada en un móvil en modo analógico
- Accesos e intentos en el establecimiento de una llamada finalizada en un móvil en modo digital

Calidad del establecimiento de una llamada inicializada en un móvil. Para probar la habilidad de una estación móvil de establecer llamadas en cada célula de la red, un número de llamadas intentan establecerse desde la estación móvil. El propósito de esta prueba es evaluar los parámetros de acceso del sistema y los parámetros del nivel de potencia para establecer una llamada, para una estación móvil analógica o en modo dual.

Recolectando simultáneamente datos de los registros del tráfico de una célula deben compararse con los resultados de accesos de la estación móvil con las perspectivas de cada intento de llamada en la radio base.

Otra medición que se puede realizarse para conocer la congestión de la red es a través de las relativas incidencias y el éxito de los "directed retries" , así como mediciones de la congestión de voz analógica y digital, también se pueden registrar los intentos fallidos.

Calidad del establecimiento de una llamada finalizada en un móvil. La finalización de una llamada en un móvil representa el gran reto de una red célula, así como la estación móvil que intenta primero definir la llamada. Para conocer la habilidad de la red para localizar un móvil, el móvil realiza numerosos intentos de llamadas. Fallas en la localización de la estación móvil pueden significar inapropiados parámetros de voceo y del diseño del área de búsqueda, o inapropiados parámetros de acceso de la red. Con lo que es posible detectar congestión a través de estas pruebas.

4.2.4 Estadísticas

Mediciones del desempeño de una red. La determinación de las nuevas configuraciones de la red comienzan con el estudio de su desempeño, el cual cuenta con la siguiente información inicial.

- Datos del conmutador (MSC switch data)
- Archivos de registro de tráfico (MSC traffic recording files)
- Pruebas de campo (drive test data)
- Quejas de los usuarios

Datos del conmutador. Los datos del centro de conmutación incluyen información del MCC, MLOC, MVER, MVC y MDVC, datos de configuración de la estación base como es la definición de células vecinas y datos de alarmas.

Archivos de registro de tráfico. Consiste en varios archivos de registro habilitados en el MSC. Dichos archivos relativos a la estación móvil gravan lo concerniente a la calidad de la llamada en la recepción.

Pruebas de campo. Esta información se colecta por pruebas de campo en toda o algunas secciones de la red midiendo la intensidad de la señal, la interferencia y el ruido de la estación móvil. Las pruebas de campo determinan la calidad de la llamada en la transmisión.

Quejas de los usuarios. Es una importante fuente de información del desempeño, a través de los usuarios se identificando anomalías que no se percibe por otras fuentes.

Datos del conmutador y comandos del móvil. Los datos del centro de conmutación controlan el origen, distribución y terminación de una llamada generada o finalizada en un móvil. Esta información se obtiene directamente del MSC o a través de una serie de comandos conocidos como lenguaje hombre-máquina. Los cuales desde las perspectivas de RF definen completamente el funcionamiento de la red aportando la siguiente información;

- Configuración de los dispositivos de una célula
- Canales de control
- Canales de voz analógica
- Canales de voz digital
- Área de localización de las células
- Áreas de localización
- Células vecinas de otro MSC
- Células de otro MSC
- Número de identificación de cada célula del propio MSC
- Número de identificación de células de otro MSC

- Células vecinas
- Células declaradas para directed retry
- Número de canales de una célula declaradas en otro MSC
- Parámetros de localidades de células digitales
- Parámetros de localidades de células digitales de otro MSC
- Parámetros de las células

Archivos de fallas y alarmas. Los archivos de fallas permiten localizar las fallas en el equipo o bien en la definición de parámetros mal declarados y problemas relacionados a RF. Predicciones de las fallas redundantes de la red se advierten a través de estos archivos. Las operaciones que se realizan día a día utilizan principalmente en los archivos de alarmas proveen fallas relacionadas a la calidad de la red, que deben ser revisadas diariamente por posibles errores.

Estadísticas de los disturbios en el canal de control (Control Channels Disturbance Statistics (CCDS)). Las estadísticas que registran disturbios se utilizan en canales de control analógicos y digitales, los cuales influyen en el diseño de frecuencias. Dos alarmas se determinan a partir de los umbrales considerados para los bajos y altos disturbios (SSDIL y SSDIH.) Todos los disturbios arriba de SSDIL y debajo de SSDIH se consideran bajos disturbios. Todos los disturbios arriba de SSDIH se consideran altos disturbios, las recomendaciones son para SSDIL= 15 AXE y SSDIH= 35 AXE.

Archivos de registro de tráfico (MSC traffic recording files). Los archivos de tráfico son una gran fuente que proporcionan la siguiente información:

- Estadísticas del ambiente de radio (MRESFILE)
- Estadísticas de tráfico de una célula (MTCESFILE)
- Registro de tráfico de una célula (MTFILE)
- Estadísticas de disturbios de radio (MTRRDISFILE)
- Relaciones de las llamadas y su radio (MTRRCRFILE)
- Registro de las asignaciones de los canales de voz (MTRVCFILE)
- Tráfico en las rutas (TRARFILE)

Estadísticas del entorno de radio. Las estadísticas del entorno de radio provén la información del desempeño de la célula y es la fuente más importante para la optimación.

La información para cada canal de control y para todos los canales de voz, se puede estandarizar de acuerdo a las características medidas, información detallada de mediciones como el BER en la transmisión y la recepción de los canales de voz digital y analógico, la intensidad de la señal para los canales de control, el C/I durante el proceso de una llamada analógica, medidas características e información de los canales de voz digitales.

Estadísticas de tráfico de una célula (MTCESFILES cell traffic statistics). Las estadísticas de tráfico de una célula es la fuente más importante de información del desempeño de una red.

La información proporcionada por las estadísticas de tráfico es la siguiente.

- Desempeño en los accesos y registros del canal de control analógico, incluyendo múltiples accesos.
- Desempeño en los accesos y registros del canal de control digital,
- Estadísticas del establecimiento de una llamada digital o analógica
- Desempeño de transferencia de una transferencia de llamada *handoff* analógico y digital
- Llamadas caídas de una llamada digital o analógica en proceso.
- Estadísticas del *directed retry*

Registros de tráfico de una célula (MTFILE Cell Traffic Recording). Los archivos de registros (CTR) proveen dos soluciones, como herramienta en mantener informado al operador del desempeño individual de una móvil, así como posee información del establecimiento de una llamada y de una llamada en proceso, así como parámetros mal definidos, fallas del equipo y otros problemas relativos al móvil. (*Accesibilidad e Integridad*)

En combinación con las pruebas de campo se utiliza para confirmar el desempeño en la recepción y en la trasmisión analógico, digital y en el establecimiento de las fronteras para el criterio de traspaso de llamada. (*Continuidad*)

Estadísticas de disturbios de radio (MTRDISFILE radio disturbance statistics). En combinación con la información obtenida del MSC, permite identificar la fuente y gravedad de la interferencia co-canal y adyacente en los canales de control y en los canales de voz analógico y digitales. (*Integridad*)

Proporcionan la duración promedio de la intensidad de la señal y de los máximos en los disturbios causante del bloqueo de un canal, mientras existen canales de voz analógicos y digitales libres. Corroboran en mantener informado a los operarios de los cambios de frecuencias y los efectos en la optimación de parámetros.

Relaciones de las llamadas y su radio (MTRRCRFILE : Radio Related Call Release). Las grabaciones que se obtienen de las relaciones de las llamadas y su radio nos permiten conocer anomalías en los procesos de terminación de una llamada (hora/ fecha) y el número de serie del móvil. Con correlación de algunos comandos, proporciona el servidor de cada llamada, lo que permite un análisis detallado de las causas de ciertas anomalías. Un análisis que consiste en comparar el desempeño de un canal de voz con el máximo y mínimo número de realizaciones permite localizar la falla en el dispositivo

Registro de las asignaciones de los canales de voz (MTRVCFILE voice channel handling recording). El registro de las asignaciones de los canales de voz proporciona a RF necesidades de capacidad en base al tráfico de un grupo de canales de voz y considerando los requisitos analógicos y digitales. (*Accesibilidad y Continuidad*)

Tráfico en las rutas (TRARFILE traffic on routes). El registro del tráfico en las rutas permite medir el grado de servicio y la capacidad requerida.

4.2.5 Servicio

Quejas de los usuarios. En Ingeniería de RF normalmente no trata directamente con las quejas de los clientes, de cualquier manera, son fuentes de información realmente apreciables, especialmente problemas relacionados a la finalización del desempeño de llamadas. Los clientes perciben cambios en el desempeño de una red antes que las estadísticas o de las pruebas de campo las detecten.

La información del sistema geográfico puede utilizarse para integrar información de diversas fuentes, modelos de propagación, estadísticas del conmutador, configuración en datos de una radiobase y quejas de los usuarios, para habilitar la rápida identificación y la correlación del desempeño de los diversos procesos en una red.

Análisis del servicio y desempeño de una célula. Una típica red celular esta conformada por varios conmutadores y sus sitios. Para optimizar es necesario enfocarse en los problemas de los sitios en problemas, el uso del análisis de los siguientes métodos se recomienda:

- Reportes excepcionales
- Análisis en las predicciones
- Presentación gráfica

Reportes excepcionales consiste en identificar y seleccionar las peores fallas del desempeño de la red, y darles preferencia en forma de reporte o tablas. Sin embargo las estadísticas de desempeño de una célula son importantes, la ingeniería en optimación debe concentrar sus esfuerzos en las células de peor desempeño, este método reduce la cantidad de tiempo desperdiciado en interpretar una basta cantidad de información.

Análisis en las predicciones es un método de rápida identificación de cambios en la red celular, comparando el desempeño anterior. Las predicciones diarias, semanales o mensuales, con las cuales se limita a una célula o toda la red, puede identificar áreas con problemas. El análisis de las predicciones es importante como una comparación absoluta la cual no es tan determinante en

caso de realizarla en una célula individual debido a que cada célula tiene un número único de las características de su desempeño.

Presentación gráfica es la herramienta final para minimizar todo los esfuerzos para localizar y optimizar las fuentes de una red pobre de calidad. Una gráfica, muestra el desempeño, o suma varios criterios del desempeño, con lo que se analiza en forma más tangible que en cantidades de tablas llenas de información.

4.2.6 Parámetros

Optimación de una célula a través de sus parámetros

El proceso de optimación se basa en un continuo ciclo de mediciones, análisis e implementación. Los métodos estadísticos deben utilizarse para identificar y optimizar los parámetros de la red, células por célula, a través del análisis de registro de tráfico, y complementado con pruebas de campo. A toda optimación debe proceder un análisis y medición que determine los éxitos y los fracasos obtenidos después del proceso.

Por ejemplo: una sección de la célula puede tener mejoras del establecimiento de una llamada y del desempeño de traspaso de la misma pero en otra sección puede tener problemas de degradación del desempeño.

a. Optimación en los sistemas de acceso.

Los parámetros asociados con el sistema de acceso deben optimizarse siguiendo todas las expansiones de la red y de los cambios de frecuencia. Estos parámetros son inherentemente dependientes a las interferencias de co-canales y adyacentes presentes en la red.

Optimación del "Path Balance". El Path Balance no tiene que recalcularse si el ERP de cada célula es intercambiable. Auditorias periódicas podrían confirmar si el actual PASET para cada trasmisor refleja el ERP deseado para cada célula.

Optimación del nivel de potencia del móvil (PLC- Mobile Power Level to Access Control Channel Optimization). El balance de la red provee el valor necesario para el parámetro PLC para cada célula. Si el ERP de un sitio es intercambiable, el parámetro PLC no requiere ser modificado. El PLC analógico y digital debe revisarse periódicamente para confirmar que este definido apropiadamente para el PASET analógico y digital.

Optimación del nivel de la señal de acceso (SSACC- Signal Strength to Access Optimization). Las estadísticas de tráfico del radio (RES) pueden utilizarse para establecer el nivel de acceso de la señal para los canales de control analógico y

digital, célula por célula las estadísticas de tráfico deben recolectarse durante la hora pico de las células que se requiere optimizar y analizarse a través del método estadístico de distribución acumulada de frecuencia (CDF).

Una muestra de las características medidas por las estadísticas de radio , permiten conocer el nivel de potencia se la señal recibida por un canal de control analógico durante los intentos de acceso de una estación móvil:

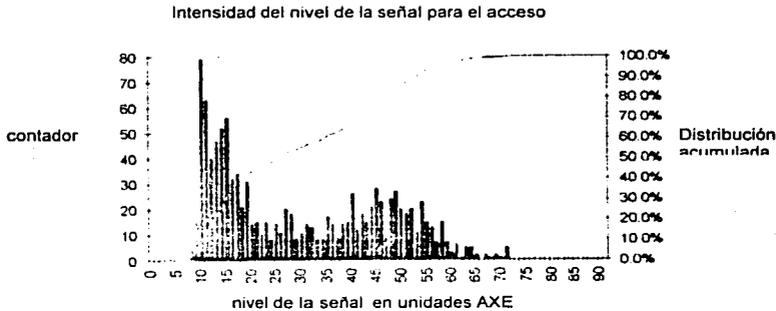


figura 4.7. Distribución muestra y distribución acumulada de los accesos de un canal de control analógico

La figura 4.7 representa el número de accesos, y el nivel de potencia ajustado a la intensidad de la señal, durante la hora pico. Estos niveles de potencia de acceso se muestran en unidades AXE en el eje de las x, el porcentaje de estos accesos se indican por el CDF.

El menor porcentaje de accesos 2% se observa fuera del área de acceso, que debería ser rechazado por el bajo nivel de la señal. Un 2% CDF ocurre en 9 AXE, con PL ajustado. EL SSACC analógico de la intensidad de la señal para acceder a un canal de control analógico debe ser de 9 AXE.

$$SSACC_{analógico} = 2\% \text{ CDF a la hora pico.}$$

donde

$$SSACC_{analógico} = \text{Intensidad de la señal de acceso a un canal de control analógico}$$

Optimación analógica del SSACC

Las estadísticas de radio no contienen mediciones características pertenecientes al canal de control de acceso a móviles para IS-136. El ERP de los canales

análogicos de control es igual al canal de control digital, por lo cual se recomienda establecer ambos valores iguales.

$$\begin{aligned} \text{SSACC}_{\text{digital}} &= \text{SSACC}_{\text{analógico}} \\ &= 2\% \text{ CDF a la hora pico} \end{aligned}$$

Se realizarán pruebas de campo por periodos cortos y el análisis de los accesos denegados, debido a una insuficiente intensidad de la señal en las estadísticas de tráfico de la célula, para determinar el éxito de la optimación del SSACC

Optimación del nivel de señal para el registro.(SSREG- Signal Strength to Register Optimization)

El umbral del nivel de señal para el registro recomendado para el parámetro SSREG, tanto para el canal de control analógico como digital, es el mismo que se determina para el SSACC

$$\begin{aligned} \text{SSREG}_{\text{analógico}} &= \text{SSREG}_{\text{digital}} \\ &= \text{SSACC}_{\text{analógico}} \\ &= 2\% \text{ CDF a la hora pico} \end{aligned}$$

El análisis de los contadores de registro se encuentran en la estadísticas de tráfico de una célula que deben utilizarse para determinar el éxito de la optimación del SSREG. Si el SSREG se define muy alto, los intentos de registro de la estación móvil serán rechazados, con lo que el móvil continuará reintentando ser registrado, creando probablemente congestión en el canal de control.

Optimación en la intensidad de señal para el bloqueo. (SSB- Signal Strength for Blocking Optimization)

La intensidad de la señal para el bloqueo, la cual se puede establecer para los canales de tráfico analógicos y digitales, debe definirse lo suficientemente alta para prever innecesarios bloqueos de radios analógicos y digitales, pero lo suficientemente baja para proteger los radios de interferencias co-canal y adyacente. Se optimiza el radio con respecto a la interferencia adyacente o co-canal a través de establecer el SSB para cada célula, con el cual no debe haber mas de 2% de radios bloqueados a la hora pico.

Para satisfacer los requisitos de C/I para una buena calidad del habla, la relación no debe ser menor de 17 dB. Para proteger a la estación móvil de una interferencia no deseada, SSB debe establecerse cuando la interferencia esta en 17dB.

El SSI analógico es el umbral del nivel de la señal para incrementar el nivel de potencia del móvil analógico. Si SSI fuera de menor intensidad que la señal deseada, se sustituye el criterio de C/I

$$\text{SSB}_{\text{analógico}} = \text{SSI}_{\text{analógico}} - 17$$

$$= 98\% \text{ CDF (RES) + 22-17}$$

$$= 98\% \text{ CDF (RES) + 5 dB}$$

donde

$SSB_{\text{analógico}}$ = Intensidad de la señal para el bloqueo analógico
 98% CDF = 98 por ciento de la Distribución Acumulada

la figura 4.8 muestra la derivación de la optimación de la intensidad de la señal para el bloqueo utilizando las características de mediciones del RES, de la intensidad de la señal recibida de un canal de voz analógico (MVC) cuando no esta en proceso una llamada y en el cual no hay verificación .

Observación, las barras representan la suma de la interferencia de todos los canales de voz analógicos para cada célula, durante la hora pico.

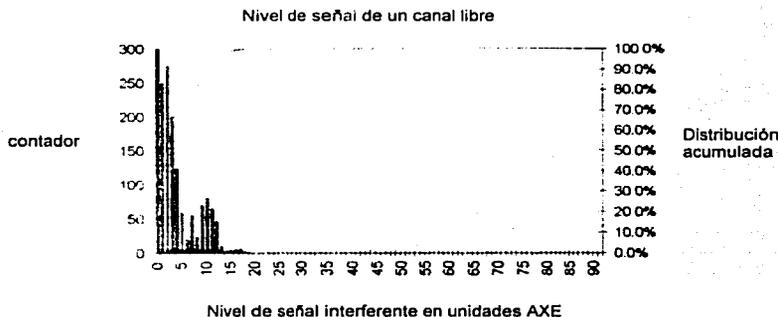


figura 4.8 Distribución muestra de la interferencia de un canal de voz analógico

El 98% de la distribución acumulada corresponde a una señal interferente de 12 AXE, la derivación analógica del nivel de la señal para el bloqueo de canales esta dado por

$$SSB_{\text{analógico}} = 98\% \text{ CDF} + 22 - 17$$

$$= 12 + 5$$

$$= 17 \text{ AXE}$$

La derivación de la optimación del nivel de señal digital para el bloqueo es basada idénticamente en el análisis de las características proporcionadas por RES. En la práctica, la optimación digital de SSB debe ser en unidades AXE derivada de la optimación del parámetro SSB analógico.

$$SSB_{\text{digital}} = 98\% \text{ CDF (RES) + 5 AXE}$$

donde

$SSB_{digital}$ = Intensidad de la señal digital para el bloqueo

El éxito del parámetro SBB analógico o digital se confirma a través del análisis de disturbios del radio y verificando el número de canales bloqueados analógico y digital en la hora pico.

b. Optimización de los parámetros de establecimiento de una llamada

Optimación de la potencia inicial de acceso para un canal de voz (PLV- Initial Power Level to Access Voice Channel Optimization)

La potencia inicial de acceso de un canal de voz es posible establecerse separadamente para un canal de voz analógico y digital.

Como se muestra en la ecuación: la potencia balanceada se establece tanto para analógico como digital, el parámetro PLV tiene el mismo valor que el PLC, célula por célula. El parámetro PLV analógico y digital debe ser normalmente establecido con el mismo valor, como se recomienda que el ERP sea el mismo tanto analógico como digital.

Por otra parte, a menos que cambie el ERP debido a los cambios del PASET o la configuración de la antena en el sitio, el parámetro PLV no requiere ser optimizado. Auditorias periódicas deben llevarse a cabo para asegurar que el ERP actual de los canales de voz analógico y digital sean los determinados a través del diseño.

Máximo nivel de potencia para un canal de voz (PLVM- Maximum Power level on Voice Channel Optimization)

El máximo nivel de potencia de un canal de voz, que es posible separar para un canal de voz analógico y digital, se establece a través de la ecuación de balanceo. No se requiere optimizar esta potencia si no hay cambios en el ERP de cada célula. Auditorias periódicas deben realizarse para asegurar que PLVM analógico y digital refleja el valor actual del ERP de los canales de voz analógicos y digitales.

c. Optimización del canal de control analógico

SSI analógico. Umbral para el incremento del nivel de la señal en la potencia de un móvil analógico (Analog SSI- Signal Strength Treshold to Increase Analog Mobile Power Level)

La optimación del parámetro SSI que determina el umbral para el incremento del nivel de la señal en la potencia de un móvil analógico, se basa en el criterio que considera para una calidad buena de voz es el siguiente: para satisfacer los

requisitos de C/I para una buena calidad del habla, no debe haber presente interferencia en 17 dB de la portadora de la señal.

Para proteger a la estación móvil de una interferencia no deseada, se debe asegurar que la interferencia debe ser de hasta 17dB en relación con la menor intensidad de la señal, que es normalmente el valor de SSI.

Las características medidas (RES), de la intensidad de señal recibida en un canal analógico (MVC) cuando la llamada no esta en proceso, y no se esta realizando la verificación de una estación móvil, se mide a través de la interferencia en un canal de voz analógica.

Una muestra de la interferencia medida en un canal de voz analógica se observa en la figura 4.9 donde la interferencia de un canal libre esta dada por la suma de todos los canales de voz analógico durante la hora pico.

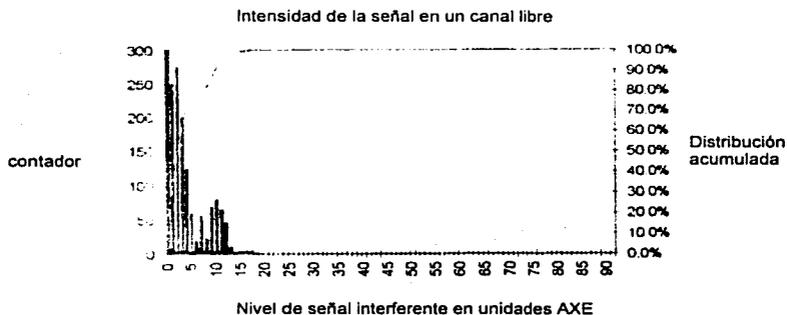


figura 4.9 Distribución muestra de la interferencia de un canal de voz analógico

Para asegurar que el 98% de interferencia no deseada no influya en una estación móvil y su SSI este definido por el menor nivel deseado, el 98% de la distribución acumulativa se determina, a partir de las barras que corresponden 12 unidades AXE.

Se recomienda que el parámetro SSI analógico se establezca de acuerdo al margen de 17dB requisito para el C/I, mas 5 dB de margen de desvanecimiento, para el 98% de distribución acumulativa de una interferencia no deseada.

$$\begin{aligned}
 \text{SSI}_{\text{analógico}} &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 17+5 \\
 &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 22 \\
 &= 12 + 22 \\
 &= 34 \text{ AXE}
 \end{aligned}$$

SSD Umbral para el decremento del nivel de la señal en la potencia de un móvil analógico. (Analog SSD- Signal Strength Treshold to Decrease Analog mobile Power Level)

La optimación del parámetro SSD que determina el umbral para el decremento del nivel de la señal en la potencia de un móvil analógico, debe optimizarse relativamente de acuerdo al SSI optimizado. A partir de la recomendación de un margen de 10 dB se tiene:

$$\begin{aligned} \text{SSD}_{\text{analógico}} &= \text{SSI}_{\text{analógico}} + 10 \\ &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 22 + 10 \\ &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 32 \end{aligned}$$

Si el 98% de la distribución acumulada esta en 12 AXE, se muestra en la figura 10 por consiguiente la optimación del SSD analógico se calcula a partir de:

$$\begin{aligned} \text{SSD}_{\text{analógico}} &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 32 \\ &= 12 + 32 \\ &= 44 \text{ AXE} \end{aligned}$$

Optimación de la potencia de control digital

SSI digital Umbral para el incremento del nivel de potencia de un móvil digital. (Digital SSI.-Signal Strength Threshold to Increase Digital Mobil Power Level)

La metodología para obtener una optimación en el SSI digital es idéntica a la utilizada para el SSI analógico.

Para satisfacer los requisitos de C/I para una buena calidad del habla, no debe haber interferencia presente en 17 dB de la señal portadora.

Para proteger a la estación móvil de la portadora en servicio desde una interferencia no deseada , con lo que se asegura que la interferencia no sea menor a 17 dB de la intensidad de la señal deseada, que es normalmente el nivel de SSI.

La medición de las características de radio (RES), en la recepción del nivel de la señal de un canal de voz digital (MDVC) cuando la llamada no esta en proceso, se mide la interferencia en el canal de voz digital.

La figura 4.10 muestra la medición de interferencia de un canal de voz digital, observar que la interferencia del canal libre se obtiene de la suma de todos los canales de voz digital durante la hora pico.

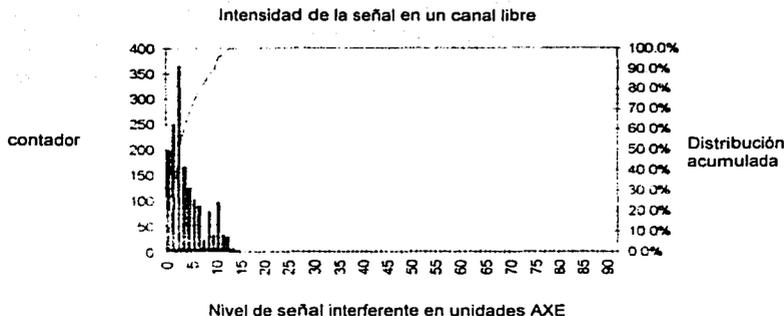


figura 4.10 Distribución muestra de la interferencia de un canal de voz analógico

Para asegurar que 98% de interferencia no deseada no influya en una estación móvil y su SSI este definido por el menor nivel deseado, el 98% de la distribución acumulativa se determina, a partir de las barras que corresponden 11 unidades AXE.

Se recomienda que el parámetro SSI digital se establezca de acuerdo al margen de 17dB requisito para el C/I, mas 5 dB de margen de desvanecimiento , para el 98% de distribución acumulativa de una interferencia no deseada.

$$\begin{aligned}
 SSI_{digital} &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 17+5 \\
 &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 22 \\
 &= 11+ 22 \\
 &= 33 \text{ AXE}
 \end{aligned}$$

En la practica, la optimación de SSI digital es muy semejante al valor de SSI analógico.

SSD digital. Umbral para el decremento del nivel de la señal en la potencia de un móvil digital (Digital SSD- Signal Strength Treshold to Decrease Digital mobile Power Level)

La optimación del parámetro SSD que determina el umbral para el decremento del nivel de la señal en la potencia de un móvil digital, debe optimizarse relativamente de acuerdo al SSI optimizado. A partir de la recomendación de un margen de 8 dB se tiene

$$\begin{aligned}
 \text{SSD}_{\text{digital}} &= \text{SSI}_{\text{digital}} + 8 \\
 &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 22 + 8 \\
 &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 30 \\
 &= 41 \text{ AXE}
 \end{aligned}$$

d. Optimización de los parámetros de traspaso de llamada

SSH Umbral de intensidad de la señal para Iniciar el proceso de handoff. (SSH- Signal Strength threshold to initiate analog handoff request)

La recomendación del valor para el valor inicial de un handoff analógico esta dado :

$$\begin{aligned}
 \text{SSH} &= \text{SSI}_{\text{analógico}} + (\text{SSD}_{\text{analógico}} - \text{SSI}_{\text{analógico}}) / 2 + 1 \\
 &= \text{SSI}_{\text{analógico}} + (\text{SSI}_{\text{analógico}} + 10 - \text{SSI}_{\text{analógico}}) / 2 + 1 \\
 &= \text{SSI}_{\text{analógico}} + 5 \\
 &= 41 \text{ (unidades AXE)}
 \end{aligned}$$

definida como el punto medio de la ventana de potencia de control analógico.

Cuando la potencia de la ventana de control analógico se ha optimizado a través de las mediciones y del análisis estadístico del RES, la optimización del parámetro SSH puede expresarse como :

$$\begin{aligned}
 \text{SSH} &= \text{SSI}_{\text{analógico}} + 4 \\
 &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 22 + 4 \\
 &= 98\% \text{ CDF (RES)} + 26 \quad \text{(de la ecuación anterior)}
 \end{aligned}$$

Si el 98% de la interferencia mostrada (RES) corre en 12 AXE, la optimización del parámetro SSH debe calcularse:

$$\text{SSH} = 12 + 26 = 38 \text{ AXE}$$

Interferencia que recibe la portadora del radio para inicializar una petición de handoff. (CIH – Carrier to Interference Radio to Initiate Analog Handoff request)

El propósito de la optimización del nivel de interferencia que recibe la portadora del radio para inicializar una petición de handoff tiene dos fines: uno es proteger la calidad de la voz de la estación móvil por el intento de un cambio de frecuencia, y otra es minimizar la carga del procesador debido a un excesivo número de peticiones de handoff.

Las características medidas (RES) pueden utilizarse para estandarizar el nivel de distribución de la interferencia C/I de célula por célula, como se muestra en la figura 4.11:

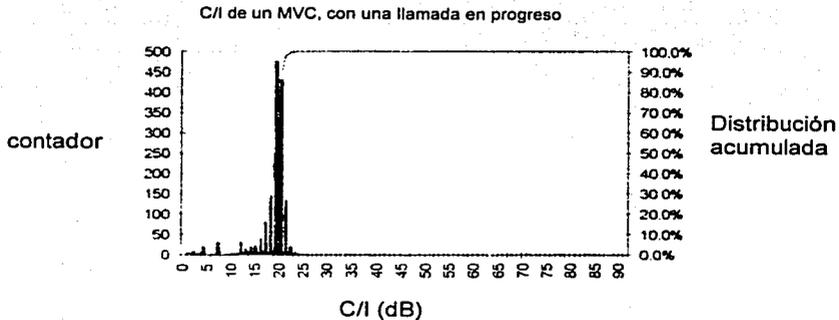


figura 4.11 Muestra de mediciones del C/I, (RES)

Se observa que la interferencia es aproximadamente de un 20% de un C/I de 17 dB o más; para éste caso , CIH debe incrementarse para intentar disminuir la posibilidad de una alta interferencia.

En general, el valor de CIH es el adecuado, de cualquier manera el éxito del parámetro CIH prevé los niveles de interferencia C/I no deseados, el cual se ve limitado por la intensidad de señal de las células vecinas.

Si se muestran altos niveles de interferencia, los cambios en el CIH tendrán un efecto limitado; un cambio de frecuencia, optimación de ERP y nivel de potencia para evitar la interferencia adyacente o co-canal deben implementarse para mejorar la calidad de audio.

Rango de la relación señal a ruido analógico requerido para el handoff. (SNH-Signal to Noise Ratio to Initiate Analog Handoff Request)

La relación señal a ruido en las mediciones del SAT gravadas por los registros de mediciones de tráfico (RES) miden la siguiente característica:

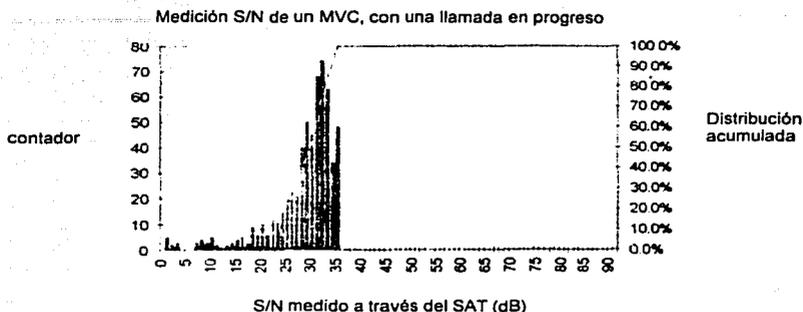


figura 4.12 Muestra de las mediciones analógicas S/N, (RES)

La figura 4.12 representa un muestreo de la distribución de la relación señal a ruido, calculado por la sumatoria de S/N para todos los MVC canales de voz durante la hora pico para una célula.

Aproximadamente el 30% de las muestras recolectadas ocurren con un rango de S/N de 28 dB o menor, para reducir este número, el parámetro SNH de la célula debe reducirse para disminuir la posibilidad de entrega de una llamada a otra célula candidata.

Debido a los esfuerzos para la optimación de C/I, posibles repercusiones pueden afectar el incremento de SNH las cuales serán limitadas por las señales de las vecinas candidatas. El cambio de frecuencia, los cambios de ERP para la interferencia adyacente y co-canal, y el nivel de la potencia de optimación puede sufrir influencias de los niveles de S/N.

Mínimo nivel de señal para aceptar la entrada de una petición de handoff analógico (SSMIN- Minimum Signal Strength to Accept Analog Incoming Handoff Request).

El valor recomendado es 10 AXE para el SSMIN analógico para que las candidatas vecinas detecten a la estación móvil a los 10 AXE (-108 dB) de intensidad de la señal y sean calificadas como mejores candidatas.

Si la interferencia co-canal existe a los 10 AXE o mas, es posible que un móvil incorrecto sea detectado por una petición analógica de localización. Si el análisis (RES) indica un alto nivel de interferencia arriba de 10 AXE, y el tráfico gravado por célula (CTR) indica un promedio de SS handoff arriba de 10 AXE, entonces el SSMIN debe incrementarse para prever traspasos de llamada inapropiados.

Todos los cambios de SSMIN deben realizarse cuidadosamente con ayuda de un recorrido de campo, y el análisis de las estadísticas de tráfico de las células, si el SSMIN se establece muy alto, el móvil estará inhabilitado a realizar el handoff a los servidores de baja potencia.

Supresión de la petición de handoff (SUH- Supresión of handoff Request)

En general, el parámetro de supresión de petición de handoff, maximiza la habilidad en modo analógico de generar peticiones de localización, y procesar handoffs analógicos.

Sin embargo, bajos ciertas circunstancias se requiere prever peticiones de localización al móvil para el control del servidor de la estación móvil. Un ejemplo de esto es una macrocélula que actúa como una célula overlay para una microcélula ; evitando movimientos rápidos de una estación móvil desde una microcélula, el parámetro SUH de la macrocélula debe establecerse relativamente alto.

Todos los cambios del SUH deben estandarizarse a través de las pruebas de campo y los registros de tráfico de la célula, estimando el impacto de éstos cambios a través del análisis de las estadísticas de tráfico no se recomienda hacerlo por separado.

Relación señal a ruido para finalizar una llamada analógica (SNR – Signal to Noise ratio to Terminate Analog Call.)

No se recomienda que el valor del SNR sea 10 dB para la relación señal a ruido para finalizar una llamada, ya que se requiere que se establezca célula por célula. Altas coincidencias de anomalías pueden llevarse a cabo simultáneamente, por lo que se debe rectificar el plan de frecuencia y los cambios en la configuración del sitio, seguido de los parámetros de optimación para la ventana de potencias.

Diseño de células vecinas

La optimación de las células vecinas debe realizarse en combinación con las grabaciones de tráfico de la célula (CTR) y las pruebas de campo.

Si en el CTR se especifica una célula para handoff analógico y digitales, un muestreo relativo durante un día y la eficaz definición en el establecimiento de las células vecinas existentes. Las candidatas al handoff con un número bajo de intentos de handoff deben estimarse por inclusión y removerse las células vecinas no necesarias.

Una ventaja de este estudio es cuando células vecinas candidatas no están definidas hay la posibilidad de ser detectadas. Cada intento debe hacerse para

minimizar el número de células vecinas candidatas, minimizando las limitaciones de diseño y maximizando la probabilidad de éxito del handoff ver figura 4.13.

Las candidatas a células vecinas deben reconocerse durante las pruebas de campo, comparando la intensidad de la señal de una célula candidata con un handoff exitoso con la intensidad de señal del canal de control analógico del mejor servidor.

En caso de no identificar las células digitales vecinas, se requiere utilizar el siguiente método el cual aplica en caso de no realizar pruebas de campo analógicas simultáneamente; el cual consiste en definir las células vecinas a través de la lista de canales medidos por el móvil, proporcionados por el MAHO.

Por lo que si se sospecha que una célula digital vecina puede ser candidata se debe definir, valorándose las mediciones de los canales y el establecimiento de la histéresis entre la célula servidora y la candidata a 63 AXE. Esto permitiría al móvil medir las apropiadas MCHNR, y prever un handoff no deseado. Las pruebas de campo es el mejor medio para establecer la histéresis apropiada.

Optimación del parámetro del handoff digital

Potencia establecida de las mediciones de un canal (PSMB- Power Setting of Measurement Channel)

No se requiere la optimación del parámetro PSMB si esta refleja el actual establecimiento de potencia de las mediciones del canal al inicio de la red. Auditorias periódicas deben llevarse acabo para asegurar el desempeño de la potencia actual de salida.

Potencia establecida del canal de voz digital (PSVB- Power Setting of Digital Voice Channel)

El parámetro PSVB refleja la potencia establecida medida del canal de voz digital al inicio de la red, no se requiere optimizar. Auditorias periódicas permitirían asegurar que la actual potencia de salida establecida al inicio se mantenga.

Mínima intensidad de señal para aceptar un handoff digital (SSMIN- Minimum Signal Strength to Accept Digital Incoming Handoff)

El valor recomendado es de 10 AXE para el $SSMIN_{digital}$, las células vecinas digitales candidatas deben tener un MCHNR de 10 AXE (-108 dB) o mejores cualidades como candidatas.

Si la interferencia co-canal existe en MCHNR a 10 AXE o mas, es posible que una mediciones incorrecta del canal sea detectada por la información local del MAHO digital .

Si el análisis de estadísticas del radio (RES) indican una nivel alto de interferencia de 10 AXE, y las estadísticas del tráfico registrado (CTR) indica un promedio de nivel de señal de 10 AXE, entonces el SSMIN debe incrementarse para evitar inapropiados handoff.

Todos los cambios del SSMIN deben considerarse cuidadosamente a través de pruebas de campo, con el análisis de estadísticas de tráfico de la célula, si SSMIN se establece muy alto, el móvil será incapaz de realizar handoff con servidores de baja señal.

El diseño de células vecinas digitales considera el mismo proceso que las para las células analógicas.

Optimación en el diseño de las DCELL (Directed retry cell)

Se recomienda que sea mínima la definición de las células "directed retry" para disminuir la posibilidad de una deficiente calidad de la voz y malas terminaciones de las llamada como consecuencia de estar fuera del área del mejor servidor.

Se debe conocer los alcances de la capacidad para favorecerla donde sea posible a través del aumento de radios, o de la manipulación de parámetros de canales de voz o a través de la definición de dcell.

En situaciones donde haya intersección de cobertura , y no haya posibilidad de agregar un canal de voz, la solución para asegurar que la llamada continúe es a través de estructuras jerárquicas.

Si se requiere un "directed retry" , se deben analizar los registros de tráfico en las rutas que las candidatas a ser dcell no sufren de congestión. Los intentos de directed retry en las estadísticas de tráfico indican el éxito o el fracaso de las dcell definidas

Observación final sobre los parámetros.

La descripción que se ha hecho y sugerencias de valores de los parámetros anteriores se ha hecho tomando como material de trabajo a un proveedor en particular de equipamiento, no obstante la metodología es aplicable si se guarda una secuencia adecuada de las tareas propuesta en el algoritmo. Para el caso de otro equipamiento solo habrá que identificar los parámetros equivalentes y su correlación a los tres puntos que no debemos de olvidar: accesibilidad, continuidad e integridad.

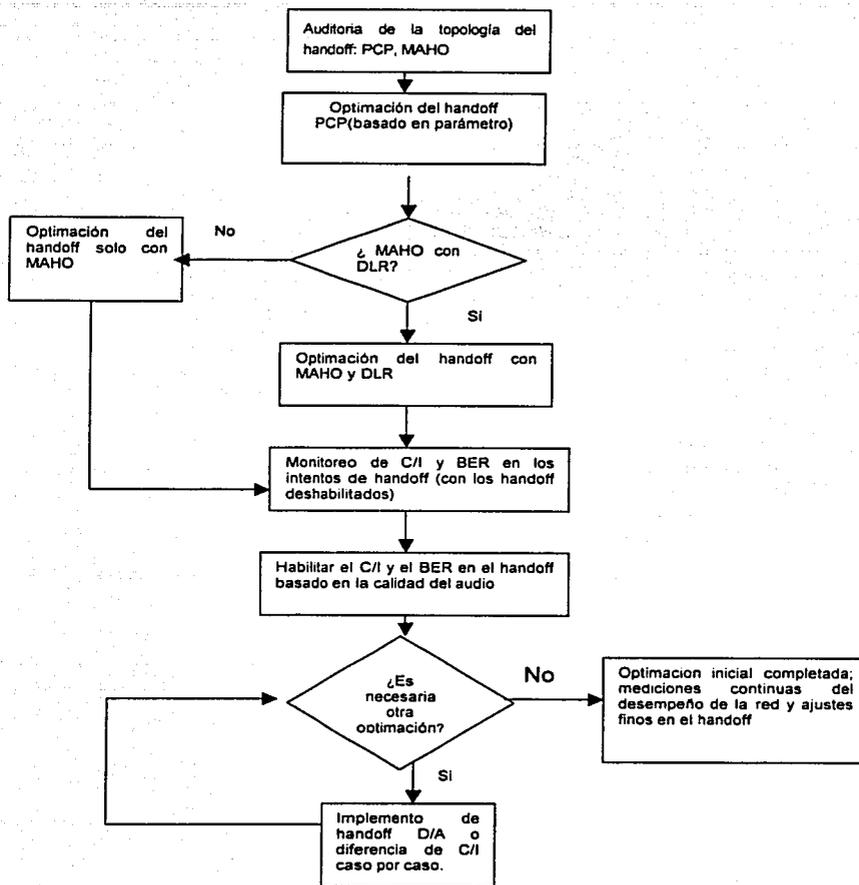


Figura 4.13. Proceso de optimación de handoff.

5. Conclusiones

Los operadores inalámbricos están trabajando en innovadoras formas de agregar rendimiento de inversión en los sistemas actuales. Dado que la privatización y liberación llegó a la región de América Latina entre mediados y finales de los años 90, la mayoría de los operadores aún están construyendo y amortizando sistemas digitales TDMA, CDMA y GSM de segunda generación.

Si bien el crecimiento de usuarios a finales de los años 90 llegó a ser hasta de 100% por año en algunos casos, hoy ha disminuido a una tasa de crecimiento del 35-40% lo cual no deja de ser atractivo.

Debido al crecimiento de usuarios y oferta de servicio las exigencias del mercado han propiciado la competencia donde la diferencia ya no deberá radicar en los servicios y precios, ni en la estrategia inicial enfocada en un crecimiento en cobertura territorial, como hasta ahora, sino a ofrecer un servicio de calidad.

Es por todo lo anterior que el contar con una metodología propuesta de mejoramiento para el desempeño y calidad de las redes celulares tiene un papel importante para los operadores. El método de optimación para redes TDMA que se presenta en este trabajo responde a estas necesidades en el sector.

Al establecer el método fueron las mismas características de las redes TDMA las que determinaron algunas de las recomendaciones particulares.

El método propone realizar una optimación partiendo de las bases con las que se realizó el diseño y cuales eran los objetivos que debería cumplir la red.

Es por eso que se recomienda la revisión de las premisas de diseño incluyendo como se realizó su implementación, cuando se recomiendan las tareas de auditoría física y de bases de datos.

Posteriormente y debido a la cantidad de información que generan las estadísticas de las redes actuales, el método propuesto realiza una discriminación que permite que sean considerados solo los elementos involucrados de acuerdo a la faceta en la que se aplique concentrando principalmente los esfuerzos en los peores casos y considerando en todo momento los tres puntos que califican el desempeño de la red: acceso, continuidad e integridad.

Así se favorece la reducción del tiempo utilizado en la interpretación de grandes cantidades de información a través de un previo filtrado, correlación, análisis, modificación y verificación.

Las soluciones inmediatas que se recomiendan deben aplicarse una vez que se hayan analizado las posibles consecuencias así como de sus soluciones a largo

plazo, de no ser así se corre el riesgo de que la solución posterior y definitiva no elimine las deficiencias actuales.

El conocimiento que el diseñador tenga sobre su red, permitirá que el ciclo de optimación se reduzca.

Las aportaciones del ciclo de optimación permitirán que la etapa del diseño se involucre en el ciclo de optimación, gracias a una retroalimentación.

Actualmente, las características de calidad deben cuantificarse para especificarse en los proyectos de sistemas móviles como objetivos de diseño y cuyo cumplimiento debe exigirse a los proveedores de equipos e instaladores de los sistemas.

En México, la Cofetel ha definido los índices de calidad y desempeño de una red celular como metas a cumplir por los operadores. Además realiza evaluaciones a los operadores con la finalidad de verificar y asegurar los estándares mínimos de calidad de servicio hacia los usuarios. Esto ha generado que los operadores enfoquen mas recursos al mejoramiento de la calidad de su red y así ser aprobados por la Cofetel.

El futuro hacia la interoperabilidad en Latinoamérica estará protagonizado por dos de las tecnologías móviles dominantes del mundo, TDMA y GSM, las cuales han desarrollado las especificaciones para una terminal interoperable de TDMA GSM (GSM-ANSI- 136) y la infraestructura secundaria, con la cual los usuarios podrán tener acceso a los servicios de datos proporcionados por un GSM/GPRS, aprovechando por otra parte el uso extensivo en la región de TDMA par el servicio de voz.

En estas transiciones es inherente la necesidad de que el operario invierta en mejorar el desempeño y calidad de su sistema a medida que el mercado evoluciona hacia los servicios de datos de mayor velocidad y finalmente hacia las redes de tercera generación.

El uso de diferentes tecnologías conviviendo en las mismas bandas de frecuencia, requerirá de esfuerzos adicionales para generar planes de frecuencia que se adapten a este entorno, recursos como AFP (planeación automática de frecuencia) FH (salto en frecuencia) y ACA (asignación de frecuencia automática) ayudaran a lograr esto así como la aplicación de metodologías ordenadas, lógicas e iterativas como la que se expone en este trabajo.

Por último, es difícil predecir el impulso que las tendencias actuales proporcionarán para la creación de una red móvil adecuada al mercado de América Latina. Se espera, que durante los próximos diez años, la tecnología de convergencia, una mayor penetración móvil y un aumento en el interés de emplear la eficiencia en el desempeño y calidad de las comunicaciones móvil, transformarán la forma de comunicación. Una mayor eficiencia económica

probablemente resultará y contribuirá a niveles aún más altos de integración económica sin considerar fronteras entre países.

Al termino de este trabajo quedan abiertas líneas de estudio que basándose en la metodología propuesta puedan aportar mecanismos que permitan a las redes "auto optimarse" si así se puede mencionar a la capacidad de que la red vaya adaptando sus recursos para cumplir con los objetivos de servicio, de hecho hoy en día diferentes desarrollos tratan de cubrir esto.

Anexo 1

1.1 PCS

El análisis de la evolución hacia los servicios de comunicaciones personales debe partir del conocimiento del estado actual de los diferentes servicios de comunicaciones relacionados con PCS, ya que ellos son los más firmes candidatos para evolucionar. Como previsión de una situación futura, es conveniente fijar los escenarios en los que presumiblemente se desarrollarán los servicios de comunicaciones personales

Los puntos de partida de los sistemas y servicios que constituyen la base evolutiva de los PCS comprenden todos aquellos que basan su operación en enlaces radio, permitiendo movilidad de terminal, es decir todos los que hoy día constituyen las comunicaciones destacando aquellas características que les hacen considerables desde la perspectiva que nos ocupa.

Las características de los PCS se pueden contribuir a la comprensión del concepto PCS describiendo las características o atributos de las cuales algunas están relacionadas con la movilidad.

- *Movilidad de terminal.* Como se ha descrito en el apartado anterior constituye una característica esencial y se basa en el acceso radio.
- *Localización.* Íntimamente relacionado con la provisión de la movilidad personal, aunque se limita a la movilidad del usuario dentro de la zona de cobertura que un operador dado y se basa en la utilización de las áreas de localización.
- *Accesibilidad.* Esta característica hace referencia al fácil acceso a los equipos de usuarios debido al costo, esencial para una amplia penetración de los PCS en el mercado.
- *Salubridad.* El impacto que puede llegar a tener el uso prolongado de los terminales sobre la salud es un elemento que preocupa al público en general y se tendrá que llegar al convencimiento de su inocuidad, máxime cuando se utilicen frecuencias radio en nuevas bandas, como las de 15, 30 y 60 GHz.
- *Calidad.* El alcance global en la provisión de comunicación puede llegar a ser una característica muy importante, incluso de mayor peso que la calidad con la que se provee el servicio. No obstante debe tenerse a alcanzar un equilibrio entre la calidad, provisión de comunicación y costo.
- *Capacidad.* Los PCS deben aspirar a cubrir aquellas zonas en las que la demanda es notablemente superior a la oferta actual, por lo que una nueva

provisión de espectro radioeléctrico para estos servicios será necesaria, constituyendo un factor clave.

- **Seguridad.** La seguridad es condicionante de una eficaz movilidad personal, caracterizada definitivamente de los PCS.
- **Interoperabilidad.** Esta característica debe ser aplicable a diferentes sistemas, redes y operadores, siendo su provisión crítica desde el punto de vista de desarrollo técnico- económico.
- **Disponibilidad del servicio.** En términos temporales y espaciales es necesaria para poder garantizar algunas de las características anteriores.

Los servicios PCS sin ser propiamente servicios de comunicaciones personales, los servicios UPT (Universal Personal Telecommunication) pueden ayudar en la comprensión entendiéndose como un registro que contiene toda la información relativa al usuario y necesaria para proveer el servicio.

El servicio contendrá información fija e información variable:

- **Información fija.** Número UPT, claves de seguridad personal, servicios suplementarios, restricciones de itinerancia o roaming, servicios de cargo y facturaciones.
- **Información variable:** localización de usuario, direcciones o identificadores de terminales registrados para su uso, encaminamiento dinámico.

Aunque sujeto a acuerdos con los proveedores de servicio, el usuario debe tener acceso a la lectura y escritura de determinados campos.

A continuación se enumeran una serie de servicios, candidatos a disfrutar del calificativo de personales.

- **Servicios personales de voz (PVS).** Estos servicios deben ser bidireccionales e incluir servicios de valor añadido como correo vocal, buzón vocal.
- **Servicios personales de datos (PDS).** Comprenden la transferencia de ficheros, introducción de datos, terminales remoto, etcétera.
- **Servicios personales de mensajería (PMS).** Incluyen servicios similares al correo, fax, mensajería con caracteres alfanuméricos, etcétera.
- **Servicios personales de navegación (PNS).** Posiblemente el soporte actual más extendido es el sistema GPS, siendo los servicios previstos tales como el posicionamiento, la guía de ruta, la planificación de viajes, etcétera.

- *Servicios personales de formación (PKS)*. Se engloba bajo este apartado los servicios del tipo educación a distancia, entrenamiento, formación, desarrollo de conferencias y seminarios.
- *Servicios personales de información (PIS)*. Comprenden los servicios de acceso a bases de datos, reservas y ventas a distancia, acceso a recursos de investigación, etcétera.
- *Servicios personales de entretenimiento (PES)*. Los servicios de este tipo más extendidos serán posiblemente los de audio y vídeo, con un elevado nivel de seguridad sobre su provisión bajo demanda, soportando niveles crecientes de interactividad.

Las claves tecnológicas como factores evolutivos. Actualmente el público percibe los móviles como un elemento de lujo, con una calidad inferior a la ofrecida por la red telefónica conmutada y a un precio superior. Si además además se debe persuadir al público para que adquiera equipos más complejos que le permitan el acceso a otros servicios adicionales al telefónico, se va a necesitar disponer de:

- disminución del costo de equipos
- reducción de tarifas de prestación de servicios
- una publicidad y comercialización de nuevos servicios creativos
- importantes mejoras tecnológicas

En relación con la última consideración existen una serie de tecnologías necesarias:

- mejora substancial en la tecnologías de acumuladores y baterías
- avances significativos en la tecnología de circuitos integrados
- introducción de pantallas de alto rendimiento
- algoritmos de reconocimiento de voz y sistemas de verificación de interlocutor
- cifrado extremo – extremo
- introducción de inteligencia de red para soportar servicios
- introducción de sistemas multicelulares e interfaces multimodo
- desarrollo a gran escala de la tecnología óptica de propósito especial como soporte de redes
- ágiles y robustos mecanismos de *traspaso de llamada*
- gestión espectral eficaz y conquista de nuevas bandas espectrales
- aplicaciones avanzadas, como las redes de área local inalámbricas o de usuarios vía radio

Partiendo de la situación actual y en relación con la incertidumbre del mercado los escenarios de evolución aparecen con el desarrollo de las provisiones de PCS:

- a) En el escenario *PCS profesional*, en el que el usuario predominante es de este perfil, se predice un fallo comercial del telepunto y del

celular en el público en general, siendo la penetración de PCS de un 10%.

- b) El escenario de un PCS de masas describe el éxito del PCS en el público en general, en el que confluyen el celular y el teléfono inalámbrico
- c) El escenario PCS multiproducto coincide con el anterior pero con un gama extensa de productos de usos específicos.

Un factor determinante del éxito de los PCS es el precio, tanto del producto como del servicio, que deberá situarse por debajo del nivel de aceptabilidad del público en general. El factor está fuertemente condicionado por el estatus de los operadores, que determinará su competitividad y consecuentemente la política de tarifas. Relacionado con la provisión de los servicios de telecomunicación se trata de las economías de ámbito, que aparecen cuando la provisión de un determinado servicio sobre una red es menor que los costos combinados sobre redes distintas.

En el escenario del PCS profesional se supone que para los PCS no existe el mercado de masas. La actividad de la telefonía móvil queda en un estatus similar al de otros productos profesionales similares al de video y de sonido profesionales y PC portátiles. El bloqueo comercial es debido al rechazo del público al alto costo de productos y servicios, que no compensa el beneficio que puede sacarles. En este escenario coexisten los sistemas celulares y CT (*Cordless Telephone*).

El escenario de los PCS de masas permite a los móviles alcanzar una gran penetración en el mercado, con unos costos de producto y servicios por debajo del nivel de aceptabilidad del gran público. Este escenario tiene dos variantes, dependientes de la tecnología: el PCS celular y el PCS CT.

Por lo tanto el PCS celular se identifica en dos mercados, el profesional en el que se dispone del servicio con todas las potencialidades y grandes áreas de cobertura y el de masas en el que se ofertan servicios más sencillos con coberturas esencialmente urbanas. En coherencia con la oferta se ajustarán los costos. En esta variante, el CT se restringe a casa y la oficina.

En la variante PCS CT también se divide en dos el mercado: el celular que permanece como un servicio caro, cubriendo grandes áreas y atendiendo necesidades profesionales; el CT- telepunto que se orienta al mercado en masas.

En el escenario del PCS multiproducto se considera que no existe un único producto capaz de atender todos los requisitos exigidos en la provisión de las diferentes necesidades; el PCS es un verdadero servicio móvil para el gran público, soportado por una gama amplia de productos, cada uno respondiendo a una necesidad determinada y con su propio nicho en el mercado. Se contemplan productos del tipo teléfonos móviles con variantes: teléfono de coche, teléfono de

bolsillo, CT domésticos, telepunto en trenes, autobuses y aeronaves. En este escenario la tarjeta inteligente juega un papel clave y hoy es el escenario más probable.

La evolución desde la situación actual hacia este escenario se puede estructurar en tres fases diferenciadas:

1. En una primera fase de lanzamiento predominan los operadores públicos nacionales. En Europa esta fase se materializa con los desarrollos de los sistemas y proyectos asociados con CT2 y GSM. La fase se verá dominada por la política de los operadores que orientarán la actividad de los fabricantes de sector.
2. La segunda fase consiste en un periodo de transición durante el que bajará el costo de los terminales debido a la fuerte competencia entre fabricantes y aparecerá en escena los operadores privados.
3. La última fase se caracterizará por una reducción del costo de terminales y tarifas de servicios. El PCS será un elemento de consumo, comprendiendo multinormas, multiproductos y multiservicios.

La estandarización y su influencia en la evolución. Desde un punto de vista tecnológico la evolución de los sistemas, redes, servicios de telecomunicación puede responder en términos generales a dos realidades, reflejando dos niveles y ámbitos de actividad. Por una parte se da una evolución lenta, continua y progresiva como consecuencia de las mejores innovaciones que introducen fabricantes y proveedores de equipos en estos, la mejora de gestión de los operadores de red y la innovación y mejora que introducen los proveedores de servicios añadiendo nuevas características y valor añadido en los mismos. La evolución asociada a estas actividades suele tener carácter local y su ritmo es dependiente de múltiples factores tecnológicos, sociales, administrativos.

Por otra parte, también se produce evolución, posiblemente más rápida y de mayor alcance tanto geográfico como temporal, en respuesta a las actividades de normalización impulsadas por instituciones de ámbito regional e incluso global. Este tipo de evolución ha sido impulsada por el mundo tecnológico y hasta no hace mucho tiempo era ajena a las aspiraciones y necesidades del usuario.

Por otra parte, en el desarrollo de los PCS es esencial la provisión de nuevas bandas de frecuencias, habiéndose producido en los años recientes una reserva general en el mundo de la banda de frecuencias de 1.8 a 2.0 GHz, aproximadamente.

Adicionalmente a la localización y reserva de nuevas bandas de radiofrecuencia en las que ubicar los nuevos servicios, se hace imperativo una mejor utilización espectral mediante una reutilización de frecuencias más intensa y métodos más

óptimos de compartición de frecuencias de los recursos espectrales. Entre las alternativas de intensificación de la reutilización espectral se sitúan las técnicas asociadas con la utilización de microcélulas. En un ambiente multicelular existe una técnica que orienta al usuario a elegir un tipo u otro de célula en función de sus características.

1.2 Telefonía local inalámbrica

Cubriendo un segmento del mercado de las comunicaciones móviles, cada vez más importante, no satisfecho por la telefonía celular, se sitúan los sistemas telefónicos conocidos como terminal de telefonía inalámbrica, telefonía sin hilos, cordless telephone o simplemente CT. Lo que inicialmente comenzó como un sistema de acceso sin hilos a la infraestructura de red telefónica fija en el ámbito de interiores de edificios. En otras palabras, se trataba de una extensión sin hilos del terminal telefónico que hacía uso de un equipo radio de baja potencia (decenas de milivatios de potencia de señal de radiofrecuencia), proporcionado fundamentalmente portabilidad de terminal telefónico y cierto grado de movilidad.

La idea fundamental que hay tras los CT es la del radioenlace de baja potencia, que limita su uso a zonas de pequeño radio de cobertura, típicamente unas decenas de metros en interiores de edificios y algún centenar de metros en exteriores de edificios en zonas residenciales o exteriores diáfanos en zonas urbanas. Como consecuencia de la baja potencia y corto alcance de estos sistemas, los terminales son ligeros, simples y económicos, potencialmente de alta capacidad, con creciente índice de penetración en el mercado. A continuación se mencionan algunas de sus características.

- acceso a la red telefónica fija, proporcionando baja movilidad de terminal (velocidad) y de usuario (roaming).
- baja potencia de transmisión (zona de cobertura local) y de procesamiento (equipos terminales sencillos)
- calidad de servicio similar al telefónico de la red fija
- bajo costo de terminal
- costo de servicio similar de la red fija

Todos los sistemas y estándares persiguen los sistemas objetivos de diseño

- minimizar el costo total del sistema
- maximizar la autonomía
- minimizar peso y volumen
- minimizar complejidad de procesamiento
- minimizar potencia de transmisión cuya consecución pasa por la observación de los compromisos.
- pocos usuarios por MHz
- pocos usuarios por estación base
- elevada densidad de estaciones base por km².
- pequeño radio de cobertura (por EB).

A continuación se mencionan las características relevantes de los sistemas de primera generación:

- canales, con 25 khz de ancho de banda
- canal dúplex por división de frecuencia
- banda de frecuencias
 - base terminal: 1.7 Mhz
 - terminal base: 47.5 Mhz
 - acceso FDMA
 - asignación fija de canal a la pareja terminal- base
 - aplicación; uso doméstico

algunos con características técnicas más complejas.

- 15 canales, con 25 kHz de ancho de banda
- canal dúplex por división de frecuencia
- banda de frecuencias
 - base terminal: 26 Mhz
 - terminal a base: 41 Mhz
- acceso FDMA
- asignación fija de canal a la pareja terminal-base
- aplicación: uso domestico

El concepto que se define a partir de este tipo de comunicación es telepunto o área de comunicación telefónica, el cual consiste en el acceso a la red telefónica conmutada, mediante un enlace entre un terminal de usuario y una radiobase . Las características del servicio se resumen en:

- solamente atiende llamadas salientes (desde el terminal de usuario)
- el uso del servicio está condicionado por:
 - disponibilidad de un terminal compatible con la radiobase
 - estar ubicado dentro de la zona de cobertura de una radiobase
 - operar con el proveedor adecuado del servicio

Los objetivos de diseño asociados pueden resumirse en la minimización del costo, precio y tamaño, mientras que se maximiza la autonomía del terminal portátil.

La consecución de los objetivos implica tener pocos usuarios por unidad de ancho de banda ocupado y por estación base, con una elevada densidad de estas posibilidades por un radio de cobertura reducido de la radiobase. Se puede observar un fuerte contraste entre los objetivos y sus implicaciones frente a las realizaciones de la telefonía celular.

Los elementos del estándar CT2- CAI (de la segunda generación) de las características de la interfaz aérea común se recoge en el siguiente recuadro.

- Canalización: 40 canales dúplex con un ancho de banda de 100 kHz

- Banda de trabajo: 4 Mhz en la banda de 900 Mhz (en UK. El intervalo espectral entre 864 y 868 Mhz).
- Técnica de modulación: gaussian FSK con desviación de pico entre 14.4 y 25.2 kHz.
- Acceso múltiple por división de tiempo, TDD (Time División Dúplex), por el procedimiento conocido como "ping-pong"
- Potencia de pido de radiofrecuencia: 10 mW
- Codificación de voz: ADPCM – 32 kbps
- Codificación de los canales de control: 1 ó 2 kbps
- Caudal binario de transmisión (nivel físico): 72 kbps
- Seguridad: aleatoriedad de los datos en comunicación y autenticación en el acceso (provisión de PIN: Personal Identifier Number)
- Capacidad: previsible hasta 5000 Erlang / km²

Anexo 2

2.1 Caracterización de las señales

En un sistema general de M señales las formas de onda usadas para transmitir la información puede designarse por $\{s_m(t), m = 1, 2, \dots, M\}$

Estas formas de onda son generalmente paso banda y se representan por

$$s_m(t) = \operatorname{Re}[u_m(t)e^{j2\pi f_c t}] \quad m=1,2,\dots,M, 0 \leq t \leq T, \text{ ec.1}$$

donde $u_m(t)$ se denominan equivalente paso bajo de las señales.

Las M señales se caracterizan individualmente por su energía:

$$E_m = \int_0^T s_m^2(t) dt = \frac{1}{2} \int_0^T |u_m(t)|^2 dt \quad \text{ec.2}$$

La caracterización mutua se hace por medio de sus *coeficientes de correlación* :

$$p_{mn} = \frac{1}{\sqrt{E_m E_n}} \int_0^T s_m(t) s_n(t) dt = \operatorname{Re} \left[\frac{1}{2\sqrt{E_m E_n}} \int_0^T u_m(t) u_n(t) dt \right] \quad \text{ec.3}$$

Otro parámetro importante es la *distancia euclídea* entre dos señales d_{mn} :

$$d_{mn}^2 = \int_0^T [s_m(t) - s_n(t)]^2 dt = E_m + E_n - 2\sqrt{E_m E_n} p_{mn} \quad \text{ec.4}$$

$$= 2E_s(1 - p_{mn}) \quad \text{si } E_m = E_n = E_s$$

a. Señales binarias antípodas

Se denominan así dos señales tales como:

$$s_1(t) = s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{ec.5}$$

Cuyos equivalentes paso bajo son dos pulsos rectangulares:

$$u_1(t) = -u_2(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}}, \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{ec.6}$$

Las dos señales tienen la misma energía $E_1 = E_2 = E_s$. El coeficiente de correlación es -1 . En el espacio de señales se representan por los dos vectores de la figura 1

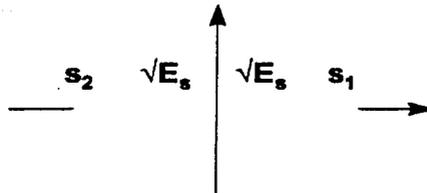


figura 2.1 señales antipodas

Claramente la distancia euclídea entre ellos es $2/\sqrt{E_s}$. El coeficiente de correlación se puede obtener también como:

$$\rho = \frac{\overline{s_1} * \overline{s_2}}{|s_1| |s_2|} = -1 \quad \text{ec.7}$$

b. Señales binarias ortogonales

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{ec.8}$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{ec.9}$$

Como se ve ambas tienen la misma energía y su coeficiente de correlación es 0. Por ello se denominan ortogonales. Sus equivalentes paso bajo son:

$$u_1(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}}, \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{ec.10}$$

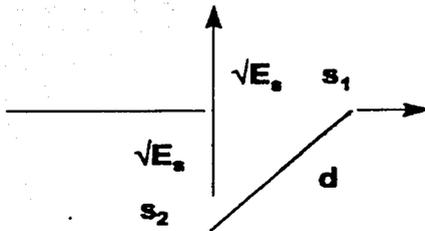


figura 2.2 señales ortogonales

$$u_2(t) = -j\sqrt{\frac{2E_s}{T}}, \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{ec.11}$$

El espacio de señales estará dado por los vectores de la figura 2

2.2 Modulación

- **Compresor / Expansor.** Se utiliza un compresor silábico 2:1. cada cambio de 2 dB en la señal de entrada se comprime a una variación del 1 dB a la salida (en el transmisor). En el receptor se realiza la función inversa de expandir una variación del 1 dB a la entrada a 2 dB a la salida.
- **Preénfasis / Deénfasis.** La función de transferencia de las redes de preénfasis y deénfasis son la siguiente:

El factor de mejora es :

$$P_{FM} = \frac{(f_2 / f_1)^2}{3[f_2 / f_1 - tg^{-1}(f_2 / f_1)]} \quad \text{ec.12}$$

Para $f_2 / f_1 < 2$ el factor de mejora tiende a 1. Para banda ancha, cuando $f_2 \gg f_1$, el factor de mejora se puede aproximar por $(f_2 / f_1)^2 / 3$. Para un canal telefónico con $f_1 = 300$ Hz y $f_2 = 3$ KHz es el factor de mejora es de $10 \cdot \log(100/3) = 15.23$ dB, ver figura 3.

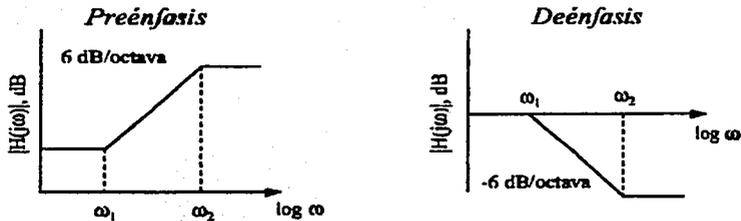


figura 2.3 funciones de transferencia de los filtros de préenfasis y deénfasis

$$\omega_1 = \frac{1}{\tau} \quad H(j\omega) = 1 + j\omega\tau \quad H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau} \quad \text{ec.13}$$

- Limitador de desviación. Una estación móvil debe limitar su desviación instantánea de frecuencia a ± 12 KHz. La característica frecuencia – tensión del limitador es la de la figura 4.

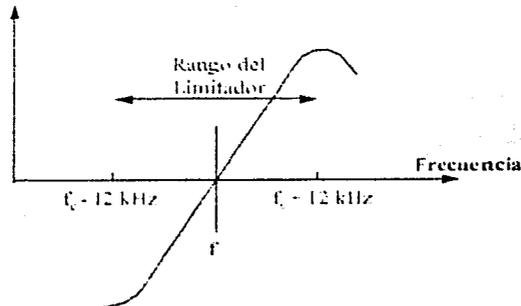


figura 2.4 características tensión – frecuencia del limitador de desviación.

- Señal de datos de banda ancha. Las secuencias de datos binarios NRZ se codifican con un Manchester bifase. Las secuencias modulan en FSK a ± 8 kHz la portadora con un régimen binario de 10 kbps. La ventaja de usar un código Manchester es que la energía se concentra entorno a 10 kHz y puede transmitirse sobre el canal de voz sin producir interferencia significativa.

2.3 Modelos de canal.

Si el ancho de banda de la señal transmitida es estrecho comparado con el ancho de banda de coherencia B_c todas las componentes frecuenciales transmitidas se

encuentran aproximadamente el mismo retardo de propagación y la señal se ve sometida a fading plano o no selectivo en frecuencia.

Cuando el ancho de banda es mayor (como en el caso de GSM), el canal se hace más dispersivo y se produce interferencia entre símbolos ISI. El ancho de banda de coherencia se define como la separación en frecuencias de dos componentes de señal para los que la correlación se hace menor de 0.5. Entonces B_c se hace inversamente proporcional a la dispersión de retardo δ : $B_c \sim 1/2 \pi \delta$.

El canal de propagación de banda ancha es la superposición de varios trayectos dispersivos, con diferentes atenuaciones y retardos, que se ven sometidos además a un cambio Doppler debido al movimiento de la MS.

El cambio Doppler máximo es $f_{Dmax} = v/\lambda c - v f_c/c$, donde v es la velocidad, f_c la frecuencia de portadora y c la velocidad de la luz. El cambio Doppler instantáneo depende de la dirección de llegada α , y por tanto tiene una distribución aleatoria tipo coseno entre $\pm f_{Dmax}$.

Debido a la dualidad tiempo-frecuencia el fenómeno de "dispersión de frecuencia" producido por el efecto Doppler resulta en un comportamiento "selectivo en el tiempo" y cuanto mayor sea la dispersión Doppler (o sea la velocidad del móvil) más rápida será la fluctuación de la respuesta al impulso.

2.4 Ecuilizador

Un receptor óptimo debe adaptarse al canal lo que implica que "conoce" el comportamiento del mismo. El canal se modela como un filtro. El receptor debe conocer la función de transferencia o respuesta impulsiva del mismo. Si el filtro se excita con una señal conocida el receptor puede comparar la salida con la entrada y obtener la respuesta impulsiva al filtro, ver figura 5.

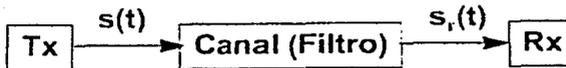


figura 2.5 Modelo de canal

Una vez conocida la respuesta impulsiva del canal el receptor puede generar todas las posibles secuencias transmitidas, pasarlas por el modelo de canal y por comparación decidir cual de ellas es la más parecida a la secuencia transmitida, ver figura 6.

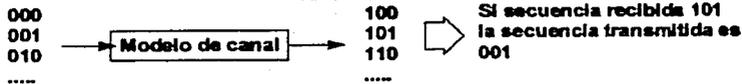


figura 2. 6 Principio de funcionamiento del ecualizador de Viterbi

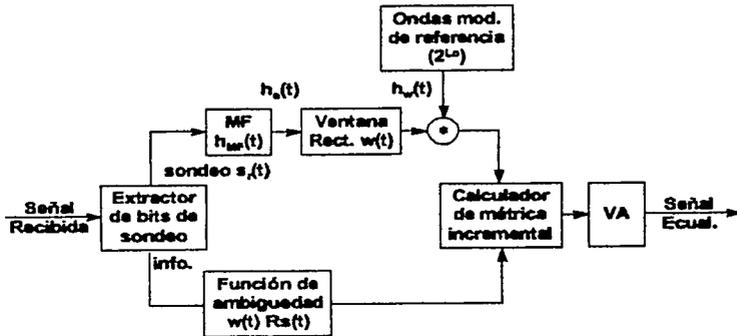


figura 2.7 Diagrama de bloques del ecualizador de Viterbi

La figura 7 muestra un diagrama de bloques general del ecualizador de Viterbi. Una vez establecida la llamada, la comunicación se mantiene usando ráfagas normales NB, que incorporan 26 bits en el centro, de los que 16 constituyen la palabra de sincronización de trama y los 5 restantes a cada extremo se repiten cuasiperiódicamente para mantener una función de autocorrelación baja.

Hay ocho palabras de sincronización diferentes asociadas con los códigos de color de las BS adyacentes. Se han seleccionado de entre las 216 posibles secuencias de manera que, cuando se extiende cuasiperiódicamente a ambos extremos las funciones de autocorrelación, tengan una relación lóbulo principal a lóbulos secundarios lo mayor posible.

Para mantener los costos bajos, es deseable usar el mismo ecualizador Viterbi VE tanto en MS como en la BS, por lo que el ecualizador deberá reconocer también las ráfagas de sincronización SB y de acceso a AB, en las que se usan palabras de sincronización de 64 y 41 bits respectivamente.

Considerando por simplicidad la ráfaga NB, con la secuencia de sondeo de canal $s(t)$ en su centro, se recibe convolucionada con la respuesta al impulso del canal $h_c(t)$ y corrompida por el ruido.

Despreciando el ruido, por simplicidad, la secuencia de sondeo recibida es:
 $S_r = s(t) * h_c(t)$ ec. 14

Esta secuencia se pasa por un filtro adaptado MF para obtener una estimación de la respuesta al impulso del canal:

$$h_c(t) = s_r(t) * h_{NB}(t) = s(t) * h_c(t) * h_{NB}(t) = R_s(t) * h_c(t) \quad \text{ec.15}$$

En esta ecuación $R_s(t)$ es la función de autocorrelación de la secuencia de sondeo.

Si esta función es parecida a una delta de Dirac su convolución con $h_c(t)$ será $h_c(t) \approx hc(t)$.

Al hacerse el sondeo en el centro del NB la estimación de $h_c(t)$ se mantendrá cuasiestacionaria para toda la duración de la ráfaga y se usará para ecualizar todos sus bits.

El enventanado se usa para limitar la longitud de secuencias y por tanto la complejidad del ecualizador de Viterbi. La longitud del intervalo de observación L_0 que se requiere en el ecualizador debe tener en cuenta la dispersión de retardo del canal. El número de estados del VE es 2^{L_0-1} . En la práctica teniendo en cuenta una dispersión de retardo del orden de 20 ms y una duración de bit de 3.6 ms, se usan VE de 4 a 6 bits de memoria.

La condición $h_e(t) = hc(t)$ se obtiene si $R_s(t)$ es una delta de Dirac que no se obtiene a la longitud finita de la secuencia de sondeo. De forma alternativa la secuencia recibida puede convolucionarse, a efectos de cálculo de la métrica, con la función de correlación enventanada $w(t)$. $R_s(t)$ a menudo denominada función de ambigüedad, De esta forma la secuencia recibida se predistorciona de la misma forma que la estimación de la respuesta al impulso del canal. Esta señal se compara con todas las posibles señales de referencia y se calculan las métricas incrementales $m_i = 0 \dots 2^{L_0}$ que usan el algoritmo de Viterbi VA para determinar la secuencia transmitida de máxima verosimilitud.

2.5 Salto de frecuencias

Es bien sabido que el salto de frecuencias combinado con el entrelazado es muy eficiente para combatir el desvanecimiento de canal y proporciona unas prestaciones casi Gaussianas incluso en un canal hostil con desvanecimiento Rayleigh.

En el principio de salto de frecuencias FH de cada ráfaga TDMA se transmite a través de un canal de radio (RFCH) diferente. Si la ráfaga TDMA actual esta en un desvanecimiento profundo probablemente la próxima no lo estará siempre que el salto se haga a una frecuencia suficientemente separada de la actual.

Esto no es fácil de proporcionar en GSM por ejemplo ya que el máximo salto es de 915-890-25 MHz, o sea de 25/900-2.8%. Aun así el FH reduce el tiempo de fanding de la MS a 4.615 ms, que es la duración de una ráfaga TDMA, y ello proporciona una ganancia substancial para MS lentas como es el caso de las peatonales.

2.6 Codificación de voz

El objetivo de los algoritmos de codificación de voz es transmitir, almacenar o sintetizar voz con una determinada calidad usando el menor número de bits. La reducción de la tasa de bits se obtiene aprovechando tanto las redundancias en la señal de voz como las limitaciones del oído humano.

Las redundancias de voz se relacionan con:

- El espectro de la voz cambia lentamente en comparación con la velocidad del muestreo.
- La tasa de vibración de las cuerdas vocales también cambian lentamente
- La energía de la voz se concentra en las frecuencias bajas.

Los sonidos vocales se pueden modelar como excitaciones bien periódicas o bien aleatorias a través del tracto bucal (filtro). Una limitación del oído humano es su baja sensibilidad a la fase de la señal. Además la audición es mucho mayor en una porción pequeña del espectro audible.

La velocidad de transmisión está ligada con el ancho de banda de transmisión, por lo que una reducción de la velocidad de transmisión permite una reducción del ancho de banda a expensas de la calidad de voz. Para una determinada tasa de bits la calidad de voz se puede mejorar haciendo más complejo el algoritmo de codificación. Por tanto hay que considerar simultáneamente tasa, calidad y complejidad.

Según el servicio hay que considerar cuatro clases de calidad:

- *Calidad de difusión.*- que hace referencia a la transmisión en banda ancha con voz de alta calidad.
- *Calidad telefónica.*- que hace referencia a la voz oída a través de la red telefónica conmutada
- *Calidad de comunicación.*- que hacer referencia a una voz claramente inteligible pero con más distorsión que la telefónica.
- *Calidad sintética.*- referida a voz metálica producida por síntesis.

La calidad de voz se puede evaluar bien con medidas objetivas (SNR) o subjetivas (puntuación de opinión medida MOS). El parámetro complejidad se relaciona con el proceso que se requiere para implementar al algoritmo de codificación. Normalmente se mide en millones de operaciones por segundo (MOPS). Los codificadores de voz se agrupan en dos categorías: codificadores de ondas y vocoders.

Los codificadores de ondas se dividen a su vez en codificadores en el dominio del tiempo, como el PCM, DPCM y ADPCM, que aprovechan la periodicidad y variación lenta de la señal y codificadores en el dominio espectral, como los codificadores SB y los adaptivos ATC entre otros, que aprovechan las redundancias frecuenciales de la voz. Suelen proporcionar mayor calidad pero requieren tasa mayores.

Los vocoders consideran un modelo de producción de voz para reproducirla. Las técnicas de codificación predictiva LPC, como la prediccción lineal mediante excitación residual RELP, son un ejemplo de vocoders.

2.7 Vocoders

El modelo básico de producción de voz de los vocoders suponen una separación clara de la información entre la excitación y el filtro del tracto bucal. La excitación es el mecanismo de producción de sonido mientras que el tracto bucal es el dispositivo usado para modular el sonido. La información de ambos se codifica por separado reduciéndose la tasa de bits requeridos.

La generación puede ser de sonidos cuasiperiódicos producidos en la laringe por las cuerdas vocales y sonidos aperiódicos (ruidosos) generados por constricción del tracto bucal generalmente en los dientes y labios. La producción de los primeros se modela con una secuencia de impulsos espaciados por el periodo correspondiente al tono de voz. Los segundos se generan con una secuencias de ruido blanco.

El tracto bucal se modela como un filtro cuyos parámetros varia con el tiempo.

En teoría la señal de voz se puede reproducir si se dispone de los coeficientes del filtro, de la información del tipo de generador (periódico o aperiódico) y del periodo del tono, como se muestra en la figura 8.

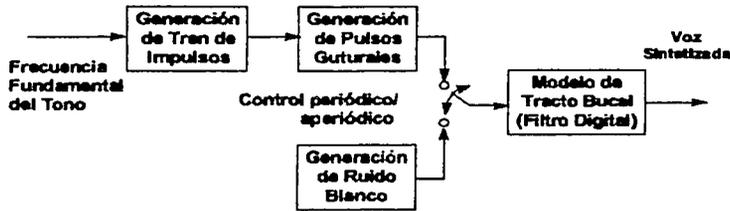


figura 2.8 Modelo de vocoder

La predicción lineal es una forma de estimación que usa una combinación lineal de muestras presentes y pasadas de un proceso estacionario para predecir una muestra futura del proceso.

Sean S_{n-k} , $k=1, \dots, M$, muestras aleatorias de un proceso estacionario $S(t)$ y sea S_n la muestra a predecir. Sea \underline{S}_n la estimación de S_n de forma que:

$$\underline{S}_n = \sum_{k=1}^M h_k S_{n-k} \quad \text{ec.16}$$

donde h_k , $k=1, \dots, M$ son constantes y M es el número de elementos de retardo.

El filtro diseñado para implementar la estimación \underline{S}_n se denomina predictor lineal. Por tanto los h_k son los coeficientes del filtro y M es el orden del filtro.

La diferencia entre el valor verdadero de la muestra S_n y su estimación \underline{S}_n se denomina error de predicción.

$$\varepsilon_n = S_n - \underline{S}_n = S_n - \sum_{k=1}^M h_k S_{n-k} \quad \text{ec.17}$$

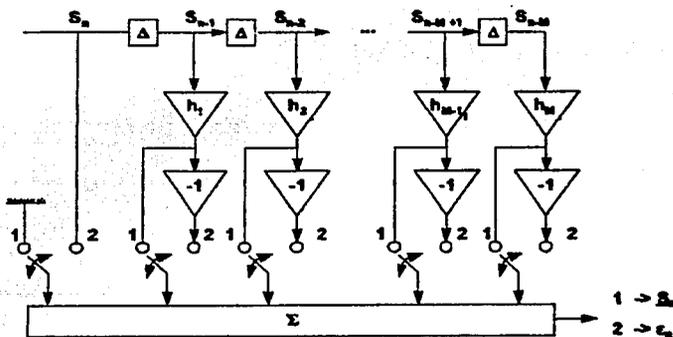


figura 2.9 Filtro de predicción lineal

Se puede invertir la última ecuación para obtener S_n dado el error ε_n , las anteriores muestras anteriores y los coeficientes del filtro, ver figura 9.

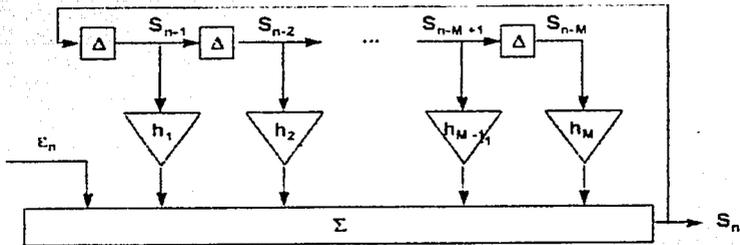


Figura 2.10 Filtro de síntesis

El vocoder LPC estándar proporciona una función de análisis en el extremo transmisor y una función de síntesis, ver figura 10 en el extremo receptor.

El análisis consiste en :

- Decidir si el sonido es periódico o aperiódico.
- Determinar el periodo del tono en el primer caso
- Calcular los coeficientes del filtro

La síntesis consiste en elegir una forma de onda bien periódica o bien ruido blanco para excitar el filtro de síntesis.

Los coeficientes óptimos del filtro implican el cálculo y minimización del error de predicción o el uso de algoritmos especiales. El número de muestras usadas en el proceso análisis – síntesis es tal que el segmento formado es de 10-30 ms durante el proceso de producción de voz es esencialmente estacionario. El resultado es voz con calidad sintética y velocidad de transmisión de 2.4 kbps. La claridad es pobre para sonidos por ejemplo nasales.

En general los codificadores de voz consideran que cada muestra S_n es independiente de forma que la mayor parte de la redundancia se ha eliminado en el proceso de análisis. Pero las muestras consecutivas mantienen cierta correlación entre ellas. La cuantificación vectorial VQ considera muestras consecutivas como un bloque o un vector y las codifica de forma que se elimina más redundancia. Por ejemplo 10 muestras de 5 bits (50 bits) podrían codificarse en 10 bits con un esquema VQ ya que el número de sonidos diferentes en estas 10 muestras no necesitan los 50 bits de codificación.

Sea k el número de muestras consecutivas (la trama). Tras el análisis normal (sin VQ) se genera un conjunto de k parámetros. Se crea un libro de códigos que contiene p vectores k - dimensionales de forma que se envía una palabra de código de $\log_2 p$ bits en lugar de los k parámetros. El índice $\log_2 p$ identifica al vector que representa mejor al conjunto de k parámetros iniciales.

La complejidad del codificador se incrementa por la necesidad de buscar el vector más adecuado de entre los p posibles en el libro de códigos. Los dos problemas clave de VQ son: crear el libro de códigos y buscar en él.

Los codificadores de forma de onda proporcionan calidad telefónica con tasas superiores a 16 kbps debido a que transmiten completamente el error residual. Los vocoders LPC proporcionan calidad sintética a tasas de 2.4 Kbps. Es posible combinar algunas características de los codificadores de forma de onda con las de los vocoders LPC para mejorar la calidad de estos a expensas de un incremento en el régimen binario. Estos vocoders híbridos son capaces de proporcionar calidad telefónica con regímenes binarios entre 4.8 y 13 Kbps.

2.8 Predicción lineal con excitación residual

La predicción lineal excitada por código CELP utiliza tanto LPC como VQ mediante un proceso de análisis por síntesis. El proceso básico de análisis consiste en obtener una palabra de código óptima (vector) c_k en el libro de códigos siguiendo un criterio de error. Cada palabra de código se escala en un factor de ganancia g_k y se procesa a través de filtros de síntesis LTP y LTP para sintetizar el término de predicción \underline{S}_n .

El error residual $\varepsilon_n - S_n - \underline{S}_n$ se procesa a través de un filtro de ponderación perceptivo PWF y se usa un proceso de búsqueda para obtener la mejor palabra de código que minimiza la energía ε_n .

El índice de palabra código k , la ganancia g_k y los parámetros de los filtros se transmiten y son los que usa el decodificador para sintetizar la voz.

Anexo 3

3.1 Sistemas de primera generación

Parámetros del Sistema	North America (AMPS)	U.K. (TACS)	Scandinavian (NMT)	West Germany (C450)	Japan (NTT)
Frecuencia de Trasmisión (MHz)					
Estación Base	870-890	935-960	463-467.5	461.3-465.74	870-885
Estación Mobil	825-845	890-915	453-457.5	451.3-455.74	925-940
Separación entre la frecuencia de transmisión y recepción (MHz)	45	45	10	10	55
Espacio entre canales (MHz)	30	25	25	20	25
Número de canales	666/832	1.000	180	222	600
Radio de Cobertura de una Estación Base (Kilometros (Km))	2-25	2-20	1.8-40.0	5-30	5 (Urbano) 10 (Suburbano)
Señal de Audio					
- Modulación					
- Máxima Desviación de la Frecuencia (KHz)	FM 12	FM 9.5	FM 5	FM 4	FM 5
Señal de Control					
- Modulación					
- Desviación de la	FSK 8	FSK 6.4	FSK 3.5	FSK 2.5	FSK 4.5
Frecuencia Taza de Trasmisión de Datos	10	8	1.2	5.28	0.3
Control de los errores del Canal de Control	Principio de mayoría de decisiones	Principio de mayoría de decisiones	Recibimiento de pasos que son determinados de acuerdo al contenido del mensaje	El mensaje es reenviado cuando el error es detectado	La señal de Trasmisión es revisada cuando es enviada de regreso por el receptor

3.2 Sistemas de segunda generación

Sistema País	Is-54 U.S.	GSM Europa	Is-95 U.S.	CT-2 Europa, Asia	CT-3 DCT-900 Suecia	DECT Europa
Tecnologías de Acceso	TDMA / FDMA	TDMA/ FDMA	CDMA/ (DS) FDMA	FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/FDMA
Uso Principal	Celular	Celular	Celular	Inalámbrico	Inalámbrico	Celular/Inalámbrico
Banda de Frecuencias						
-Estación Base (MHz)	869-894	935-960	869-894	864-868	862-866	1800-1900
-Estación Móvil (MHz)	824-849	890-915	824-849			
Duplexamiento	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD
Ancho de Canales RF (KHz)	30	200	1.250	100	1 000	1.728
Modulación	PSK/4 DQPSK	GMSK	BPSK/ QPSK	GFSK	GFSK	GFSK
Potencia, máxima promedio miliwatts (mW)	600/200	1.000/125	600	10/5	80/5	250/10
Asignación de Frecuencias	Estática	Dinámica		Dinámica	Dinámica	Dinámica
Control de la Potencia						
-Estación Base	SI	SI	SI	NO	NO	NO
-Estación Móvil	SI	SI	SI	NO	NO	NO
Códigos de Voz	VSELP	RPE-LTP	QCELP	ADPCM	ADPCM	ADPCM
Tazas de Voz	7 95	13	8 (taza variable)	32	32	32
Canales de voz por canales de RF	3	8		1	8	12
Taza de Bits por canal (Kbs)	48.6	270.833		72	640	1152
Duración de la Trama (ms)	40	4 615	20	2	16	10

Acrónimos

	ACA (Adaptive Channel Allocation)
ACC	(Analogue Control Channels)
ACH	(Access Channel)
ACI (C/A)	(Adjacent Channel Interference). Interferencia causada por una portadora desplazada a 30 kHz arriba o abajo del canal de señal deseada. C/A
Acimut	Orientación en grados respecto al norte magnético en el plano horizontal de cada antena.
ADC	(American Digital Cellular). Estándar celular digital de segunda generación
AFP	(Automatic Frequency Planning)Planeación automática de frecuencias
AMPS	(Advanced Mobile Phone Service). Estándar celular analógico de primera generación
AUC	Centro de Autenticación
AXE	(Public Telephone, Stored Program Control Exchange). Unidad referencia de Ericsson (-118 dBm = 0 AXE)
BER	Bit Error Rate
BS	(Base Station) Estación Base
BSC	(Base Station Controller). Controlador de la estación base
BST	(Base Station Transceiver). Transceptor de la estación base
C/I	(Carrier-to- Interference ratio). Relación, normalmente expresada en dB, del nivel de señal comparada con el nivel de señal interferente de la misma frecuencia.
CAP	(Coverage Area Probability). Eficiencia Probabilística del Área de Cobertura
CCDS	(Control Channel Disturbance Statistics). Estadísticas de los disturbios que afectan el canal de control
CCH	(Control Channel). Canal de control
CDF	(Cumulative Distribution Frequency) Distribución Acumulada de Frecuencia
CDMA	(Code Division Multiple Access). Técnica de acceso por código
CDR	(Call Data Record)
CELP	Codificación " lineal predictiva excitada por el código"
CEPT	Conferencia Europea de Correos y Telecomunicaciones
CIH	(Carrier to Interference Ratio to Initiate Analog Handoff request) Nivel de la relación de C/I para inicializar una petición de traspaso celular
CMAC	(Control Mobil Attenuation Code). Establece una relación con la potencia del canal de control en la estación móvil
Co-canal	Canales con la misma asignación de frecuencias
CRC	(Cyclic Redundancy Code). Código de redundancia cíclica
CTR	(Cell Traffic Recording). Registro del tráfico en una célula
CTTA	Asociación de Industrias de las Telecomunicaciones Celulares

ACRONIMOS

dBm	Decible con respecto a un milliwatt de potencia
DCA	(Dynamic Channel Allocation)
DCC	(Digital Color Code). Es un código identificador asociado al canal de control de una estación base el cual se utiliza para establecer y mantener una llamada
DCELL	(Direct Retry Cell). Se utilizado para designar directed retry, células utilizadas como alternativas para un traspaso de llamada por congestión en los recursos de las células vecinas.
DCS-1800	(Digital Communications System) estándar
Downtilt	Orientación en el plano vertical inclinación mecánica y/o eléctrica
DTC	(Digital Traffic Channels)
DVCC	(Digital Verification Color Code) 8-bit en el código de verificación transmitido de la estación móvil a la estación base. El DVCC se utiliza en TDMA para marcar móviles diferentes con la misma frecuencia
EDGE	(Enhanced Data Rates for GSM Evolution) también llamado GSM384 para la operación de datos de alta velocidad
EUR	Registros de identificación de equipos
Erlang	Un Erlang es la unidad de medición del tráfico de telecomunicaciones. Estrictamente un Erlang representa el continuo uso de la voz. En la práctica se utiliza para la descripción del volumen de tráfico total. (minutos de tráfico por hora = número de llamadas * duración)
Erlang B	Modelo comúnmente utilizado para determinar el número de líneas que se requieren durante la hora pico, no considera la llamadas bloqueadas
Erlang C	Este modelo asume todas las llamadas incluyendo las bloqueadas, debido a que permaneces en la cola hasta ser atendidas.
ERP	(Effective Radiated Power)Potencia radiada efectiva
ESN	(Enhanced Services Network)
ESN	(Electronic Serial Number). Número de serie electrónico en
ETSI	Instituto Europeo de Normalización
Extended Erlang B	Similar al Erlang B, pero se considera a todas llamadas bloqueadas.
FACCH	(Fast Associated Control Channel). Canales de control rápido asociado
FBER	(Forward Bit Error Rate).
FCC	(Federal Communications Comision). Agencia Federal de los Estados Unidos encargada de la regulación del uso del espectro.
FDCC	(Forward Direct Control Channel). Canal de control directo en AMPS
FDMA	(Frequency Division Multiple Access).Técnica de acceso múltiple
FM	Frecuencia Modulada
FOCCH	(Forward Analog Control Channel) Canal de control del patrón de transmisión desde la estación base a la estación móvil
Full – duplex	Servicio bidireccional

ACRONIMOS

FVC	Canal de voz directo en AMPS
GO	Geometría óptica
GOS	Grado de servicio
GPRS	(General Packet Radio Service) estándar de comunicación a través de paquetes
GPS	(Global Position Systems). Dispositivo utilizado para determinar las coordenadas en un punto (latitud/longitud) con la ayuda de un sistema de satélites.
GSM	(Global System for Mobile Communications) Estándar celular digital de segunda generación
GTD	Teoría geométrica de la difracción
Handoff	Traspaso de una llamada entre sectores celulares
Handover	Proceso de traspaso de llamada de una sector de una célula a otro sector de la misma célula
HCS	(Hierarchical Cell Structure)
Histéresis	Conjunto de parámetros agregados para la establecer transferencias de llamadas, reduciendo la probabilidad de "ping-pong handoff "
HLR	(Home Location Register) Base de datos utilizada para el registro de los usuarios locales
HSCSD	(High Speed Circuit- Switched Data). Datos de alta velocidad utilizando conmutación de circuitos
IM	Intermodulación. La combinación de los componente de frecuencias que se generan cuando dos o mas frecuencias fundamentales se mezclan en un dispositivo no lineal.
IMT-2000	(International Mobile Telecommunications). Estándar celular digital de la tercera generación
IMTS	(Improved Mobile Telephone System)
IS	(Interim Standard)
ISDN	(Integrates Services Digital Network). Red digital de servicios integrados
JDC	(Japanese Digital Cellular) Estándar celular digital de segunda generación
LCR	(Locating Channel Receiver).Unidad de radio designada para realizar mediciones del nivel de señal de las candidatas para el traspaso de llamada en células vecinas
Link Budget	Cálculos de pérdidas y ganancias en un enlace de radio
LNA	(Low Noise Amplifier) Amplificador de bajo ruido
LOS	(Line Of Sight). Línea de vista en un enlace de radio. Se define cuando no existen obstáculos entre el trasmisor y receptor, en microondas también se considera que este libre de obstáculos la N zona de Fresnel
MAC	(Mobile Attenuation Code). Código a través del cual se expresa el nivel de potencia de una estación móvil
MAHO	(Mobile Assisted Handoff). Proceso por el cual un móvil monitorea la intensidad de la señal que recibe de las próximas células

ACRONIMOS

	vecinas, con la finalidad de asistir al conmutador el tiempo y la dirección del traspaso de llamada a realizar
MCC	(Mobile Control Channel)
MCHNR	(Measurement Channel Number)
MDCC	(Mobile Digital Control Channel)
MDEQ	(Mobile Digital Equipment)
MDVC	(Mobile Digital Voice Channel)
MHT	(Mean Hold Time)
MLOC	(Mobile Locator)
MMDS	(Microwave Multipoint Distribution Systems MMDS1/2)
MOS	(Mean Opinión Score)
MS	(Mobile Station) Estación Móvil
MSC	(Mobile Switching Center). Conmutador
MTSO	(Mobil Telephone Switching Office) Central de conmutación de móviles en AMPS
MVC	(Mobile Voice Channel) canal de voz
MVER	(Mobile Station Presence Verification). Dispositivo que interviene en una transferencia de llamada
NLOS	(Non Line Of Sight)
NMT-450	(Nordiska Mobil Telefongruppen). Estándar celular de primera generación
OM	Operación y Mantenimiento
PASET	Potencia establecida a la salida de la antena de transmisión
Path Balance	Balance del sistema de acuerdo a los cálculos de enlace de radio en la trasmisión y recepción
Path Loss	Pérdidas de la trayectoria de radiación
PCH	(Paging Channel)
PCPTL	(Per-Cell-Pair Threshold Low). Umbral del nivel básico de RSSI para solicitar un handoff (Nortel)
PCS	Servicios de Comunicaciones Personales
Pegs	Voceos
PL	(Power Level)
PLC	(Mobile Power Level to Access Control Channel) nivel de potencia del móvil
PLV	(Initial Power Level to Access Voice Channel). Potencia inicial de acceso para un canal de voz
PLVM	(Maximum Power level on Voice Channel) Máximo nivel de potencia en un canal de voz
PSMB	(Power Setting of Measurement Channel) Potencia establecida de las mediciones de un canal
PSTN	(Public Service Telephone Network)
PSVB	(Power Setting of Digital Voice Channel) Potencia establecida del canal de voz digital
RBER	(Reverse Bit Error Rate)
RECC	Canal de control inverso en AMPS
RECCH	Canal de registro

ACRONIMOS

Reorder	Mensaje estado fallido de un intento de llamada debido a un canal ocupado
RES	Estadísticas del tráfico del radio
RF	(Radio Frequency). Energía electromagnética en el intervalo de frecuencias auditivas
RILT	(Remote Interface Line Terminal). A cada Interfaz de transmisión de radio se le asigna un grupo de dispositivos para su direccionamiento.
Roaming	Desplazamiento de un móvil fuera de su zona local asignada
Rp	La relación de protección es el valor mínimo admisible de la relación señal deseada / señal interferente para el funcionamiento adecuado del receptor.
RSSI	(Received Signal Strength Indicator) Medida del nivel de señal recibida en la estación base o en la estación móvil, expresada normalmente en dBm
RVC	(Reverse Voice Channel) Canal de voz inverso en AMPS
S/N	(Signal-to Noise ratio). Relación del nivel de potencia de la señal y del ruido en un canal
SACCH	(Slow Associated Control Channel). Canal de control lento asociado
SAT	(Supervisory Audio Tone) Tono de supervisión de audio, transmitido en las frecuencias 5970,6000 o 6030 Hz
SCC	(SAT Color Code). Valores correspondiente a cada SAT: 00 par 5970 Hz, 01 para 6000 Hz, 10 para 6030 Hz.
SDCC o SCOL	(Supplementary Color Code)
SID	Identificación de sistema local
SID	Identificación de sistemas en AMPS
SNH	(Signal to Noise Ratio to Initiate Analog Handoff Request)
SNR	(Signal to Noise Ratio to Terminate Analog Call). Relación señal a ruido para finalizar una llamada analógica.
SSACC	(Signal Strength to Access) Mínimo nivel de señal requerido para realizar un acceso al sistema
SSB	(Signal Strength for Blocking) intensidad de señal para el bloqueo
SSD	(Signal Strength for Decrease) nivel de la señal para el decremento de la potencia de un móvil
SSDIH	Alarma que determina a partir de los umbrales considerados para altos disturbios
SSDIL	Alarma que determina a partir de los umbrales considerados para los bajos disturbios
SSH	(Signal Strength threshold to initiate analog handoff request)
SSI	(Signal Strength for Increase) Nivel de la señal para el incremento de la potencia de un móvil
SSMIN	(Minimum Signal Strength). Mínima intensidad de señal para aceptar un handoff
SSREG	(Signal Strength to Register) Nivel de señal para el registro de un intento de llamada.

ACRONIMOS

ST	(Signal Tone). En el sistema celular AMPS se transmite un tono a 10 KHz en el canal de recepción como precursor en la actividad de mensajes, y para verificar las funciones del procesamiento de una llamada, así como de la terminación de la misma.
SUH	(Supresion of handoff Request). Supresión de la petición de handoff
TACS	(Total Access Communications System). Estándar celular de primera generación
TDMA	(Time Division Multiple Access). Técnica de acceso por división de tiempo
Time slot	Ranura de tiempo
TMA	Servicios analógicos de telefonía móvil automática
Trunking	Proceso de compartir un total de canales de voz entre todos los usuarios , con la posibilidad de proveer a cada usuario el total de recursos
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	(Universal Mobile Telecommunication System). Estándar celular de tercera generación
VCH	(Voice Channel Handling) algoritmo de asignación de canales
VLK	(Visitors Location Register). Registro de localización de visitantes
VMAC	(Voice Mobile Attenuation Code). La señal envía éste código a la terminal del usuario antes de asignarle un canal para determinar el nivel de reducción de la potencia en las terminales del transmisor
VSAC	(Voice Base Station Attenuation Code). Parámetro aplicado en la estación base para la disminución de la potencia
VSELP	Codificación "lineal predictiva excitada por una suma vectorial"
WCDMA	Interfaz radio de acceso por división de código de banda ancha

Referencias

- [1] Información proporcionada por los estudios estadísticos de EMC World Cellular Database al 2001 <http://www.3gamericas.org/English/statistics>
- [2] Información proporcionada por los estudios estadísticos de EMC World Cellular Database al 2001 <http://www.gsmworld.com/news/statistics/subforecasts.shtml>
- [3] Información proporcionada por los estudios estadísticos de EMC World Cellular Database al 2001 http://www.cdg.org/world/cdma_world.asp
- [4] Crecimiento en el número de usuarios TDMA 1997-2001, Universal Wireless Communications Consortium
- [5] Cambridge Mass (reporte de Wirelesstoday de mayo del 2000) Rangos de penetración de la telefonía celular a nivel global. <http://www.wirelesstoday.com> Market Snaps hot
- [6] Yankee Group (reporte de Wirelesstoday mayo 2000) Rangos de penetración de la telefonía celular a nivel global. Market Snaps hot <http://www.wirelesstoday.com>
- [7] Proyección de usuarios de telefonía celular de acuerdo a Cahners In-Stat Group (Cellular Market Goes Ballistic-Wireless Forecast, publicado en mayo del 2000) <http://www.wirelesstoday.com/snaparchives/snap052900.html>
- [8] Yankee Group (reporte de Wirelesstoday 2000) Rangos de penetración de la telefonía celular a nivel global. Market Snaps hot <http://www.wirelesstoday.com>
- [9] Porcentaje de tráfico mundial de la telefonía celular del tráfico total de las telecomunicaciones (registradas a través del "Circuit Switched") proporcionadas por: Yankee Group marzo 23,1999 <http://www.wirelesstoday.com/snaparchives/snap032398.htm>
- [10] Allience Business Intelligence sustentado por el reporte "Wireless Broadband Fixed Access Delivery Methods and Marketplace" Telefonía fija vs telefonía celular <http://www.wirelesstoday.com/snaparchives/snap052499.html>
- [11] Penetración de la telefonía celular en zonas rurales 1999,2003 proporcionada por: Cahners In-Stat Group en el reporte "Wireless Usage in Urban and Rural Communities" 2000 <http://www.wirelesstoday.com/snaparchives/snap032000>

REFERENCIAS

- [12] Número de usuarios de telefonía celular en América Latina proporcionada por: Frost & Sullivan agosto 1999.
<http://www.wirelesstoday.com/snaparchives/snap080999.html>
- [13] Yankee Group (reporte de Wirelesstoday 1999)
- [14] Reporte de Investigaciones Júpiter Media Metrix. enero 2001
- [15] Doc AN001-99- RF Propagation Models for Wireless Systems, CelPlan Wireless Global Technologies, enero 1999
- [16] *Manuel f. Cátedra, Jesús Pérez- Arriaga*, "Cell Planning for Wireless Communications Artech House" 1999 Norwood, MA.
- [17] *Asha Mehrotra*, "Cellular Radio, Analog and Digital Systems". Artech House 1994
- [18] *W.C. Y .Lee*, "Mobile Cellular Telecommunications Analog and Digital Systems". Mc Graw Hill. Second Edition 1995
- [19] *T.S. Rappaport*, "Wireless Communications, Principles and Practice", Prentice Hall 1996.
- [20] *R. Schneiderman* "Wireless Personal Communications", IEEE Press, 1994
- [21] *M. Paetsch*, "Mobile Communications in the US and Europe: Regulation, Technology and Markets", Artech House, 1993
- [22] IEEE Personal Communications, 1995 y 1996
- [23] Reporte #2 de "UMTS Forum The Path towards UMTS Technologies for the Information Society"
- [24] Apuntes de Comunicaciones Móviles de la especialidad "Dirección, Estrategias y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, UPM Madrid, España 2001.
- [25] Documento DMS-MTX System Optimization- Call Performance 411-2131-004 (04.01). Nortel Networks, Estados Unidos junio 1999
- [26] Documento TDMA Deployment Guidelines for 800 MHz Cellular Systems 411-2131-005 (01.01) Nortel Networks. Estados Unidos, mayo 1997
- [27] Documento DMS-MTX Cellular Handoff for AMPS/TDMA Systems 411-2131-006 (04.02) Nortel Networks, Estados Unidos, mayo 1999

REFERENCIAS

- [28] Documento DMS-MTX RF Engineering Guidelines for 800 MHz Cellular Systems 411-2131-007 (03.02) Nortel Networks, Estados Unidos, junio 1999
- [29] Documento DMS-MTX Capacity Planning Guidelines for AMPS/ TDMA 411-2131-007 (03.02) Nortel Networks, Estados Unidos, junio 1999
- [30] DMS- MTX Traffic Planning for AMPS/ TDMA Systems 411-2131-009 (03.02) Nortel Networks, Estados Unidos, junio 1999
- [31] CMS 8800 Measurement & Statistical Analysis, Document # EN/LZB 119 1333/1, Rev 2. RF Application Guidelines for AS100 Ericsson
- [32] RF Guidelines for CMS 8800 (Application System 94), Document #1/102 86-FCU 101 43. RF Application Guidelines for AS100 Ericsson
- [33] IS-54B Cellular System Dual-mode Mobile Station- Base Station Compatibility Standard, EIA/TIA Document PN2759, January 1992. RF Application Guidelines for AS 100 Ericsson
- [34] IS-55 Recommended Minimum Performance Standards for 800 MHz Dual-Mode Mobile Stations, EIA IS-55, January 1992 RF Application Guidelines for AS100 Ericsson
- [35] IS-56 Recommended Minimum Performance Standards for 800 MHz Base Stations Supporting Dual-Mode Mobile Stations, EIA IS-56, January 1992 RF Application Guidelines for AS100 Ericsson
- [36] IS-136 Based Mobile Station Minimum Performance and Based Air Interface Compability 800 MHz Standards, TIA document IS-136.1, November 1994, RF Application Guidelines for AS100 Ericsson
- [37] Manual "Field Measurement Equipment and Post Processing Software" CWT Comarco Wireless Technologies, Mexico City July 1999,.