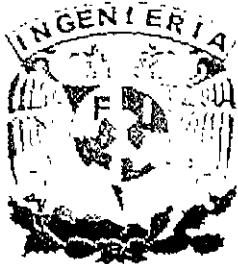


FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A N :
ARTURO JAVIER HUERTA TREJO
CARLOS ISRAEL LEÓN MÁRQUEZ
ERIKA HERNÁNDEZ CAMPUZANO



ASESOR: Dr. SALVADOR LANDEROS AYALA

CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO DEL 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

La importancia de este trabajo va más allá del contenido del mismo. Representa el último trabajo que presentaremos dentro de nuestra licenciatura, realmente ha sido un largo y sinuoso camino, sin duda alguna acompañado de muchos desvelos y sinsabores, pero por fortuna también y sobre todo de muchas alegrías y satisfacciones. Todo esto ha sido posible gracias al apoyo de muchas, muchas personas, que de una u otra forma me han ayudado a seguir adelante.

Tengo que agradecer a Dios, porque si bien no me he permitido conocerlo, he podido sentir que de una u otra forma hay alguien haya arriba, muy cerca de las estrellas y que me ha ayudado en los momentos más difíciles, ya sea poniendo a mi lado a la persona adecuada, ya sea dándome la energía y carácter necesario para afrontar las dificultades o incluso al regalarme el brillo de una estrella y reconfortarme con ello.

A mis padres, simplemente les debo mi existencia, su apoyo, cuidados y esfuerzos. En especial a mi madre quien siempre busca y encuentra la forma de ayudarme, quien sufre y se angustia conmigo, pero que también se alegra al ver a sus hijos contentos, definitivamente su amor es algo ejemplar.

A mis hermanos a quienes quiero mucho, somos diferentes y como hermanos hemos llegado a tener algunas discusiones, pero sin duda alguna se siente siempre un apoyo incondicional entre todos, realmente gracias por ser así y por ser mis hermanos.

Gracias también a mis pequeños (Gustavo y Jesús Arturo), su energía es algo que contagia y su existencia es un reto para dar lo mejor de mí.

No puedo olvidar y dejar de agradecer a mis maestros, de una u otra forma fueron mi guía durante esta parte del camino, gracias en especial al Dr. Salvador Landeros por todo su apoyo, he aprendido mucho de él, no solo de sus conocimientos, sino de su esfuerzo y entrega a todas sus actividades.

Me siento muy orgulloso de haber estudiado en la UNAM, me considero "PUMA" de corazón disfruto gritar con el corazón un GOOOOYYYAAAA!!!, y doy gracias a mi Alma mater por existir y por ser parte fundamental de la sociedad mexicana.

En alguna parte lei que podemos medir la riqueza con el número de amigos que tengamos, y realmente yo me siento muy muy afortunado de haber tenido y seguir teniendo la oportunidad de conocer a tantas personas, y poder decirles sinceramente amigos. De ellos he aprendido mucho, de una u otra forma, en una y otra época. Por desgracia a veces te alejas de ellos, ya sea por las distancias, porque ya no tienes el tiempo de antes, o porque fuiste un tonto y dejaste que alguna pequeña diferencia se hiciera trascendental, sin embargo, siempre queda algo de ellos contigo, de alguna forma ahora son parte de mí, y los recuerdo con mucho cariño.

En especial quiero mencionar a los beatles de la primaria; al "grupo de billar" de la secundaria, al "equipo de football" al área 1, a la "opcion tecnica de computacion" y a los monstruos, de la prepa, a la "banda del magic", a la rondalla y a todos mis compañeros de generación en la licenciatura; a mis amigos y compañeros de trabajo en Explora, en NEC y ahora en TELCEL. Sinceramente gracias por permitirme ser parte de ellos.

En cuanto a este trabajo, gracias especiales a aquellos que nos ayudaron a "recopilar" información u Daniel, Gabriel, Oliver, Cecilia, Rafael y Samuel.

Me he extendido bastante, pero no puedo dejar de agradecer a ciertas chicas que han compartido conmigo muy bellos y emotivos momentos, ellas saben quienes son, aunque quizás no las haya podido expresar lo importante que han sido para mí, realmente muchas gracias por su apoyo, consejos, compañía y/o inspiración.

Arturo Javier Huerta Trejo
R2 D2 - Mayo 2001

"Si por un instante Dios se olvidara de que soy una marioneta de trapo y me regalara un trozo de vida, posiblemente no diría todo lo que pienso, pero en definitiva pensaría todo lo que digo. Daría valor a las cosas no por lo que valen sino por lo que significan. Dormiría pero sonaría más."

He aprendido que todo el mundo quiere vivir en la cima de la montaña sin saber que la verdadera felicidad está en la forma de subir la escarpada.

Cabrera, Marquéz

A mi familia y amigos

A lo largo de mi vida, he pasado situaciones difíciles y retos propios, dentro de estos retos uno muy importante es el haber concluido mi educación superior, que a pesar de estar fuera de casa desde pequeño no me desalente ni renuncie a ello, pero esto se lo debo a los esfuerzos tanto de mi mamá como de mi papá y hermanos, así como los valores, y la formación que me inculcaron, y el ejemplo que siempre me han dado que es el luchar por lo que uno quiere. Por ello es que les dedico especialmente y con mucho cariño esta tesis a Rafa, Charly, Marlene, Sandra, Mauricio y María Fernanda, y a mis tías Lupita y July que que siempre han estado presentes y nos han brindado apoyo.

Pero también a los grandes amigos que conocí en nuestra H Facultad de Ingeniería, que me hicieron sentir como en casa, y les quiero decir que siempre los recordare.

Carlos Israel León Márquez

A mis padres.

*Como una muestra de mi cariño
y agradecimiento por toda la
lealtad y el apoyo brindado y
porque hoy veo llegar a su fin
una de las metas más preciadas
les agradezco la orientación,
así como las cosas más valiosas
que siempre me han otorgado
el amor, el tiempo y la vida*

Gracias

Enika

ÍNDICE

	pág.
CAPITULO I	
Introducción	1-1
1.1 Telefonía Celular	1-3
1.2 Situación de la Telefonía Celular en México	1-4
CAPITULO II	
Principios de Telefonía Celular	2-1
2.1 Sistema Celular	2-5
2.1.1 Configuración genérica del sistema	2-5
2.1.2 Configuración genérica del Sitio Celular	2-6
2.1.3 Sistema de Radio	2-7
2.1.4 Radio difusión	2-8
2.1.5 Duplex y simplex	2-8
2.1.6 Plataformas tecnológicas.	2-9
2.1.7 Espectro esparcido.	2-9
2.1.8 Radio Convencional.	2-10
2.1.9 Paging o Radiolocalización.	2-10
2.1.10 AMPS (Advanced Mobile Phone System)	2-10
2.1.11 TACS (Total Access Communications System)	2-11
2.1.12 IS-95 CDMA (Code-Division Multiple Access)	2-12
2.1.12.1 Handoff o transferencia de llamada en CDMA	2-12
2.1.12.2 Canal de "ida" CDMA	2-12
2.1.12.3 Canal de "retorno" CDMA	2-13
2.1.13 NADC (IS-54 e IS-136) North American Digital Cellular	2-14
2.1.14 GSM (Global System for Mobile communications)	2-15
2.1.15 CDPD Cellular Digital Packet Data	2-16
2.1.16 Tecnologías de radiotransmisión empleadas en México y el mundo	2-17
2.2 Tercera generación de Telefonía Celular	2-21
2.2.1 Los elementos esenciales de la 3G	2-22
2.2.1.1 Alta velocidad	2-22
2.2.1.2 Flexible	2-22
2.2.1.3 Accesible	2-22
2.2.1.4 Compatible	2-22
2.2.2 IMT-2000	2-23
2.2.3 Principios claves del IMT-2000	2-24
2.2.3.1 Mayor rango de servicios	2-24
2.2.3.2 Arquitecturas unificadas y flexibles	2-25
2.2.4 La evolución de la red hacia el IMT-2000	2-25
2.2.4.1 Evolución desde GSM	2-25
2.2.4.2 Migración a través del TDMA (IS-136)	2-26
2.2.4.3 Migración a través del CdmaOne (IS-95)	2-26
2.2.4.4 IS-95-B	2-27
2.2.4.5 IS-95-C (Cdma2000 Fase1)	2-27
2.2.5 Comparación entre 2G y 3G	2-28
2.2.6 WAP	2-28

	pág.
CAPITULO III	
Propagación y cálculos de enlace	3-1
3.1 Cálculo de enlace	3-2
3.2 Modelos de Propagación	3-3
3.2.1 <i>Espacio Libre</i>	3-4
3.2.2 <i>Hata</i>	3-4
3.2.3 <i>Carey</i>	3-5
3.2.4 <i>Mc. Grejam & Griffiths</i>	3-5
3.2.5 <i>Cost231 Walfisch/Ikegami</i>	3-5
3.2.6 <i>COST-231 Hata</i>	3-7
3.2.7 <i>LEE</i>	3-8
3.2.8 <i>SAKAGAMI-KUBOI</i>	3-9
3.2.9 <i>IKEGAMI</i>	3-9
3.2.10 <i>Quick</i>	3-10
3.2.11 <i>Resumen de los modelos de propagación</i>	3-11
3.3 Atenuación ambiental	3-11
3.4 Difracción	3-12
3.5 Rutas múltiples y retraso por dispersión	3-13
3.6 Pérdidas por Cables	3-15
3.7 Radio de células y ERP (Effective Radiated Power)	3-16
3.8 Elementos del Cálculo de Enlace	3-17
3.9 Informe del Cálculo de Enlace	3-19
3.9.1 <i>Carátula</i>	3-19
3.9.2 <i>Introducción</i>	3-19
3.9.3 <i>Revision</i>	3-19
3.9.4 <i>Índice</i>	3-20
3.9.5 <i>Apreciación global del sistema</i>	3-20
3.9.6 <i>Objetivos de cobertura</i>	3-20
3.9.7 <i>Calidad de cobertura</i>	3-20
3.9.8 <i>Cobertura entre sistemas</i>	3-21
3.9.9 <i>Tecnología e infraestructura</i>	3-21
3.9.10 <i>Modelo de propagación</i>	3-21
3.8.11 <i>Cálculo</i>	3-22
3.9 Ejemplo del cálculo de enlace	3-22
CAPITULO IV	
Antenas	4-1
4.1 Tipos de antenas	4-3
4.2 Antenas de la estación base	4-3
4.2.1 <i>Colineales</i>	4-3
4.2.2 <i>Logo-periodicas</i>	4-3
4.3 Tipos de antenas más comunes	4-4
4.4 Desempeño	4-5
4.5 Diversidad	4-6
4.5.1 <i>Diversidad en espacio</i>	4-7
4.5.1.1 <i>Horizontal</i>	4-7
4.5.1.2 <i>Vertical</i>	4-7
4.5.2 <i>Polarización</i>	4-7
4.5.3 <i>Diversidad en Tiempo</i>	4-8

4.5.4 Diversidad en Frecuencia	4-8
4.5.5 Diversidad de Ángulo	4-8
4.6 Aislamiento de la antena	4-9
4.7 Ganancia	4-9
4.8 Conectores	4-10
4.9 Antenas inteligentes	4-10
4.10 Selección de la antena	4-12
4.11 Inclinación de la antena	4-12
4.11.1 Procedimiento de barrido	4-12

CAPITULO V

Equipos

5.1 Moduladores	5-2
5.1.1 Ancho de banda de la información	5-3
5.1.2 Modulación en Amplitud (AM)	5-3
5.1.2.1 ASK (Amplitude Shift Keying)	5-5
5.1.3 Modulación de la frecuencia (FM)	5-5
5.1.3.1 FSK	5-5
5.1.3.2 MSK	5-6
5.1.3.3 GMSK	5-6
5.1.4 Modulación en fase (PM)	5-6
5.1.4.1 BPSK	5-6
5.1.4.2 QPSK	5-6
5.1.4.3 DQPSK	5-7
5.1.5 Métodos del desplegado de formas de onda digital	5-7
5.1.5.1 Espectro	5-7
5.1.5.2 Diagramas I&Q	5-7
5.1.5.3 Diagrama de Vectores	5-7
5.1.5.4 Diagrama de constelacion	5-8
5.1.5.5 Diagrama de ojo	5-9
5.2 Filtros	5-10
5.2.1 Tipos de Filtros	5-10
5.2.1.1 Filtro paso bajas	5-10
5.2.1.2 Filtro paso altas	5-11
5.2.1.3 Filtros Paso Banda	5-11
5.2.1.4 Filtro Supresor de Banda (notch)	5-12
5.2.1.5 Filtro Cristal	5-12
5.2.1.6 Filtro armónico	5-12
5.2.1.7 Filtro de Onda Acustica de Superficie (SAW)	5-13
5.2.2 Características generales de los filtros	5-13
5.2.3 Clasificaciones de Filtros	5-13
5.2.3.1 Butterworth	5-13
5.2.3.2 Chebyshev (Chebyshev)	5-14
5.2.3.3 Filtro Cauer	5-14
5.2.3.4 Filtro Bessel	5-15
5.2.4 Criterios de Desarrollo de Filtros	5-15
5.2.5 Selección de Filtros	5-17
5.2.6 Requerimientos del Sistema de Comunicación	5-17
5.2.6.1 Tamaño	5-18
5.2.6.2 Costo	5-18

	pág.
5 2 6 3 Nueva Tecnología	5-18
5 2 6 4.1 Superconductores	5-18
5.2 6 4 2 Filtros adaptativos	5-19
5.3 Transmisores	5-19
5.3.1 <i>Tipos y clases de amplificadores</i>	5-20
5.3.2 <i>Aisladores</i>	5-21
5.3.3 <i>Técnicas de combinación</i>	5-21
5 3 3 1 Combinación con cavidades	5-21
5 3 3 2 Combinadores Híbridos	5-22
5 3 3 3 Duplexores	5-22
5 3 3 4 Acoplador "Crossband"	5-22
5.3.4 <i>Relación de Onda Estacionaria (SWR –Standing Wave Ratio).</i>	5-22
5.3.5 <i>Potencia efectiva radiada y Potencia isotrópicamente radiada (ERP y EIRP)</i>	5-23
5.4 Receptores	5-23
5.4.1 <i>Modulación en amplitud (AM)</i>	5-24
5.4.2 <i>Modulación en frecuencia (FM)</i>	5-25
5.4.3 <i>Modulación en fase (PM)</i>	5-25
5.4.4 <i>Diagrama de bloques</i>	5-26
5 4 4 1 Sistema de antena	5-26
5 4 4 2 Líneas de alimentación	5-26
5 4 4 3 Filtros	5-26
5 4 4 4 Preamplificador	5-26
5 4 4 5 Acoplador múltiple	5-27
5 4 4 6 Receptor de radio	5-27

CAPITULO VI

Selección de Sitios

	6-1
6.1 Macro célula	6-3
6.1.1 <i>Omnidireccional</i>	6-3
6.1.2 <i>Sitios direccionales</i>	6-3
6.1.3 <i>Tres sectores</i>	6-4
6.1.4 <i>Seis sectores</i>	6-4
6.2 Microcélulas	6-5
6.2.1 <i>Microcélula alimentada por fibra</i>	6-6
6.2.2 <i>Microcélula TI</i>	6-6
6.2.3 <i>Microcélula de microondas</i>	6-6
6.2.4 <i>Repetidores</i>	6-6
6 2 4 1 Repetidor de Alta Potencia	6-6
6 2 4 2 Repetidor de Baja Potencia	6-6
6 2 4 3 Repetidor o Amplificador Bidireccional	6-7
6.3 Instalación de una radiobase	6-7
6.3.1 <i>Cableado</i>	6-7
6.3.2 <i>Montaje de la Antena</i>	6-7
6.3.3 <i>Diversidad de espacio</i>	6-7
6.3.4 <i>Torres</i>	6-8
6.4 Interiores	6-8
6 5 Intermodulación	6-9
6 5.1 <i>Procedimiento de revisión de intermodulación</i>	6-9
6.6 Aislamiento	6-10
6 7 Revisión de los sitios de comunicación	6 10

CAPITULO VII

Diseño del Sistema de RF	7-1
7.1 Proceso de diseño del sistema de RF	7-2
7.2 Metodología	7-3
7.3 Decisión tecnológica	7-5
7.4 Cálculo de enlace (Link Budget)	7-5
7.5 Sitios celulares	7-5
7.6 Requerimientos de cobertura	7-6
7.6.1 Proceso de identificación de la cobertura del RF para un sistema nuevo	7-6
7.6.2 Proceso de identificación de la cobertura del RF para un sistema existente	7-6
7.7 Número de sitios requeridos	7-7
7.7.1 Tráfico de RF "Offloading" –fuera de carga-	7-8
7.7.2 Crecimiento de radios	7-8
7.8 Guías de implantación del diseño de RF	7-8
7.9 Diseño del sitio celular	7-9
7.10 Búsqueda de un área	7-10
7.11 Prueba de calificación del sitio (SQT)	7-10
7.12 Aceptación del sitio (SA –Site Acceptance-)	7-11
7.13 Rechazo del sitio	7-13
7.14 Activación del sitio	7-13
7.15 Lineamientos	7-13
7.16 Planeación y Tabla de Divisiones	7-14
7.17 Cumplimiento EMF	7-14
7.18 Planeación de Frecuencias	7-15
7.19 Activación de Sitios	7-15
7.20 Reporte de Diseño del Sistema RF	7-17
7.21 Presentación	7-17
7.22 Dimensionamiento de una red celular	7-17
7.22.1 Tráfico	7-18
7.22.1.1 Variación en el tiempo de duración	7-18
7.22.1.2 Variación de horario	7-19
7.22.1.3 Variación diaria	7-19
7.22.1.4 Variación de temporada	7-19
7.22.1.5 Variación a largo plazo	7-19
7.22.2 Estimación del volumen de tráfico	7-19
7.22.2.1 Volumen de tráfico	7-19
7.22.2.2 Intensidad de tráfico	7-20
7.22.2.3 Grado de Servicio.	7-20
7.22.2.4 Cálculo de tráfico	7-20
7.23 Dimensionamiento de una central celular	7-20
7.24 Número de canales y número de células	7-21
7.25 Procedimiento para agregar una radiobase	7-21
7.26 Ejemplo de diseño de un sistema celular	7-23

CONCLUSIONES

ANEXO A

A.1 Herramienta para el cálculo de enlace	A-1
A.2 Código Fuente	A-2

FUENTES DE INFORMACIÓN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

Dentro del mundo de las telecomunicaciones, existe un área que ha ido creciendo muy rápidamente, nos referimos a las comunicaciones inalámbricas. La expansión que han tenido los operadores de este tipo de servicios ha convertido a esta área en un gran campo de trabajo y de explotación para los ingenieros en telecomunicaciones tanto del lado de los fabricantes de los sistemas como del lado de los operadores de dichos servicios.

A dicha área pertenece la telefonía celular, tema que nos ocupa en el presente trabajo, y si bien muchos de los conceptos que se manejarán dentro de los siguientes capítulos son aplicables a otros sistemas inalámbricos el enfoque se hará principalmente a este servicio.

La telefonía celular, tecnológicamente es un concepto reciente ya que el primer sistema de este tipo operó comercialmente en 1984-1985 en E.U.A., sin embargo ha tenido un mayor desarrollo respecto a los otros sistemas de Telecomunicaciones, tanto desde el punto de vista de evolución tecnológica como del crecimiento de fabricantes y proveedores de equipos y servicios, todo esto en función de la acelerada penetración de mercado que el servicio de Telefonía Celular ha tenido.

En el capítulo 2 se hace un resumen de los principales conceptos que se emplean en la telefonía celular y de las tecnologías utilizadas (desde sus inicios hasta su evolución en sistemas de tercera generación).

La propagación de las señales radioeléctricas es el fenómeno físico que nos ha permitido tener estos sistemas de comunicación, en el capítulo 3 encontraremos los efectos que sufren las señales al propagarse en el espacio libre, se mencionan los métodos empíricos que se emplean con más frecuencia y se muestra la forma de hacer un cálculo de enlace (se incluye un pequeño programa en Visual Basic para hacerlo de forma más automática).

1 Introducción

Dentro del mundo de las telecomunicaciones, existe un área que ha ido creciendo muy rápidamente. Nos referimos a las comunicaciones inalámbricas. La expansión que han tenido los operadores de este tipo de servicios ha convertido a esta área en un gran campo de trabajo y de explotación para los ingenieros en telecomunicaciones tanto del lado de los fabricantes de los sistemas como del lado de los operadores de dichos servicios.

A dicha área pertenece la telefonía celular, tema que nos ocupa en el presente trabajo, y si bien muchos de los conceptos que se manejan dentro de los siguientes capítulos son aplicables a otros sistemas inalámbricos el enfoque se hará principalmente a este servicio.

La telefonía celular, tecnológicamente es un concepto reciente ya que el primer sistema de este tipo operó comercialmente en 1984-1985 en E.U.A., sin embargo ha tenido un mayor desarrollo respecto a los otros sistemas de Telecomunicaciones, tanto desde el punto de vista de evolución tecnológica como del crecimiento de fabricantes y proveedores de equipos y servicios, todo esto en función de la acelerada penetración de mercado que el servicio de Telefonía Celular ha tenido.

En el capítulo 2 se hace un resumen de los principales conceptos que se emplean en la telefonía celular y de las tecnologías utilizadas (desde sus inicios hasta su evolución en sistemas de tercera generación).

La propagación de las señales radioeléctricas es el fenómeno físico que nos ha permitido tener estos sistemas de comunicación, en el capítulo 3 encontraremos los efectos que sufren las señales al propagarse en el espacio libre, se mencionan los métodos empíricos que se emplean con más frecuencia y se muestra la forma de hacer un cálculo de enlace (se incluye un pequeño programa en Visual Basic para hacerlo de forma más automática).

Un elemento fundamental para las comunicaciones inalámbricas son las antenas, es por ello que se dedica el capítulo 4 al estudio de los tipos de antenas existentes, sus principales características. Se comentan cuales son las más empleadas en la telefonía celular

Durante la carrera estudiamos diversos elementos de los sistemas de comunicación (moduladores, demoduladores y filtros), con ellos se diseñan los equipos que se tratan en el capítulo 5

Una vez que se han tratado los principales elementos que utilizan estos sistemas de comunicación, los capítulos 6 y 7 se enfocan al proceso de instalación y dimensionamiento de las redes celulares, en el primero de ellos se explica el proceso para la selección de los sitios celulares y en el segundo se dan los principales lineamientos para el diseño de una red y se incluye un ejemplo de ello

1.1 Telefonía Celular

Desde el lanzamiento de los primeros teléfonos móviles hace exactamente dos décadas, este tipo de servicio telefónico ha tenido un éxito asombroso entre los consumidores

En un principio, las tecnologías celulares analógicas (también llamada 1G o primera generación), como el AMPS, el TAC, etc., dieron una solución satisfactoria a las demandas de los usuarios de aquel tiempo, en el cual eran instrumentos de trabajos sofisticados y relativamente caros. A medida que los precios fueron cayendo debido a la competencia y el uso del celular fue haciéndose masivo, las tecnologías analógicas mencionadas no han sido suficientes para cubrir las necesidades de los usuarios y la aparición de tecnologías celulares digitales (también llamadas segunda generación o 2G), como el TDMA o el CDMA, fue el detonador para el crecimiento espectacular en la utilización de la telefonía celular que se ha tenido en estos últimos años

Estas tecnologías digitales tienen ventajas innegables con respecto a las tecnologías analógicas, permiten una mayor densidad de usuarios por celda, lo cual permite un menor costo por usuario, se puede transmitir datos de baja velocidad (9.6 Kbps), etc.

Estas ventajas, sumadas al hecho de la evolución misma de los terminales portátiles cada vez más pequeños y baratos, así como de la calidad de las comunicaciones hicieron de la telefonía celular el "boom" de los años 90, con nuevas asignaciones de frecuencia para servicios completamente digitales (como los servicios PCS)

Por otra parte el crecimiento que se tuvo y que aún se espera de las redes de telefonía celular son sencillamente sorprendentes

En Japón, el número de suscriptores al sistema celular en Enero del 2001 fue de casi 60 millones. Por lo que se refiere a Europa, la base del mercado UMS/Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMI-2000) es de más de 70 millones de usuarios, mientras que en el resto del mundo, desde las naciones más ricas a los países en desarrollo de América Latina, Asia y en menor medida, África, las tasas de crecimiento de los servicios inalámbricos continúan siendo de hasta un 165% por año

Algunos analistas esperan que la penetración en los mercados más importantes del mundo llegue al 50% en el año 2003 y en algunos países, especialmente en los países en desarrollo, puede llegar incluso a sobrepasar a la telefonía básica en el futuro (En México ya se presentó este hecho)

También los analistas predicen un crecimiento del mercado mundial de teléfonos móviles desde los 200 millones actuales a unos 2400 millones de usuarios en 2015, lo que significaría que el mercado actual sólo representa un 10% de la demanda futura

Si bien las actuales tecnologías celulares (2G) ayudaron a la consolidación y al rápido crecimiento de los teléfonos celulares, los cuales han dejado de ser los juguetes de los ricos o los instrumentos de trabajo de los ejecutivos y ejecutivas poderosos para convertirse en un accesorio cotidiano, no tienen la suficiente capacidad para soportar aplicaciones que se estiman van a ser tan populares en el futuro como lo es hoy la Internet y la navegación en la WWW a través de la banda angosta audio y video e-mail, video conferencia en tiempo real o Internet de alta velocidad entre otros servicios de banda ancha

El nombre completo que se ha dado a este sistema es, SISTEMA DE RADIOTELEFONIA MÓVIL CON TECNOLOGÍA CELULAR. El nombre describe sus tres características más importantes:

- ✓ Radiotelefonía: Telefonía a través de ondas de radio
- ✓ Móvil: Capacidad para dar servicio a, y entre teléfonos en movimiento inclusive a altas velocidades
- ✓ Tecnología Celular: Técnica que permite reutilizar un número limitado de frecuencias para aumentar "ilimitadamente" la capacidad del sistema, mediante el uso de células

El servicio de radiotelefonía móvil pública está concebido como una extensión del servicio telefónico básico, posibilitando el establecimiento de comunicaciones desde aparatos terminales de abonado que no tienen porque estar asociados a un lugar determinado. Por este motivo, el servicio radiotelefónico móvil público está especialmente dirigido a aquellas personas que por condiciones especiales necesitan llamar o estar localizables en la mayor parte del tiempo

1.2 Situación de la Telefonía Celular en México

El mercado de las comunicaciones móviles en México está regulado por la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel), mientras que la legislación es generada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Las licencias para proveer servicios de telefonía celular (en la banda de 800MHz) fueron subastadas en 1989, cuando el país se dividió en nueve regiones (Figura 1.1), cada una con dos franquicias banda A y banda B. Las nueve regiones son: Ciudad de México, Sudeste, el sur del Golfo, Central, Oeste, Norte, Noreste, Noroeste y Baja California. Fue otorgada una licencia en cada región a Telcel, la subsidiaria móvil de Teléfonos de México (Telmex), y una fue vendida a un competidor privado. Posteriormente en Mayo de 1998 Cofetel anunció a los postores premiados en una subasta por 1900 MHz de frecuencias en estas áreas, las licencias son entregadas cuatro meses después (Figura 1.2). Una vez más se otorgaron las licencias a Telcel para operar en las nueve regiones, mientras otras tres compañías tenían ofertas aceptadas en cada área.



Figura 1.1 Las nueve regiones en que se dividió México

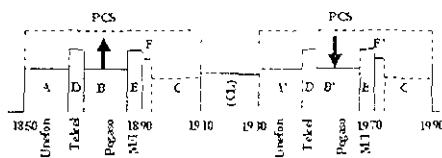


Figura 1.2 Evolución PCS en México

Se ha atribuido el rápido incremento en la popularidad de los servicios móviles durante 1999 a la introducción de los sistemas de pago. El sistema fue implementado el 1º de Mayo de 1999, un mes después de que la Cofetel tenía un cargo fijo de 0,25 USD por minuto. Los operadores móviles pronto empezaron a informar aumentos en la cantidad de tráfico celular.

El sector es dominado por Telcel (ver figura 1.3), la empresa anteriormente subsidiaria de Telmex y que opera los servicios en la banda B. Telcel lanzó su red analógica AMPS en 1989 y en 1998 introduce su infraestructura con equipo digital TDMA. Telcel atribuye su éxito a la continua popularidad de su servicio prepago Amigo, el cual es utilizado por la mayoría de sus suscriptores y es una de las más utilizadas formas de pago en América Latina.

Telcel ha suministrado a sus suscriptores con servicios de roaming global, permitiendo a los usuarios el acceso a cualquier red móvil o conexión a la infraestructura de la compañía satelital.

Actualmente, Telcel se encuentra en el proceso de instalación de una red GSM/GPRS.

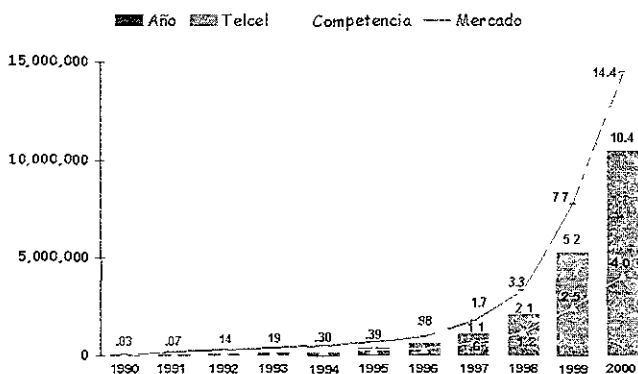


Figura 1.3 Mercado malambrico en México

El rival más cercano de Telcel para clientes móviles es Iusacell. Iusacell tiene licencias en la banda A en las cuatro regiones centrales, incluyendo la ciudad capital, desde 1989 cuando lanza su servicio AMPS, en mayo de 1998 la compañía empieza a comercializar su servicio digital CDMA. Para el 30 de septiembre de 1999 Iusacell tenía 1.13 millones de suscriptores, arriba del 80% de 627,856 un año antes, alrededor de 15% de los suscriptores usan la red digital. En abril de 1999 Iusacell anuncia su plan para invertir 160 millones de USD durante el año para extender sus redes analógica y digital en preparación para esperar el crecimiento en suscriptores. Teniendo concesiones ganadas para operar servicios PCS en dos de las regiones norte del país, en 1998 Iusacell anuncia su intención de extender sus servicios a estas áreas para tomar su total cobertura para aproximadamente 80% de la población. En febrero de 1999 firma un contrato de 60 millones de USD con Lucent para la instalación de una red CDMA en dos franquetas del norte.

Los propietarios de las licencias en la banda A para operar en las cuatro regiones norte del país, Cedetel, Bajacel, Movitel y Norcel, comenzaron siendo subsidiarios de equipo Norteamericano Motorola y del hombre de negocios Eduardo Vazquez. Colectivamente las compañías usan el nombre de Cedetel y para finales de Septiembre de 1999 sus suscriptores son aproximadamente 750,000, casi el doble de la figura de 20 meses antes. Durante 1998 todos los cuatro operadores empiezan a introducir equipo CDMA para sus redes, las cuales cubren aproximadamente 21% de la población del país. En Marzo de 1999 las cuatro compañías Cedetel le otorgaron un contrato de 85 millones de USD a su padre Motorola para la expansión de sus redes CDMA. Ahora estas compañías del norte, Baja Celular (Baja California), Movitel (Noreste, Sonora, Sinaloa), TeCel del Norte (Chihuahua) y Cedetel (en Coahuila, Nuevo Leon y Tamaulipas) fueron absorbidas por Cedetel, misma que ha sido adquirida recientemente por Telefónica de España.

Portatel, el propietario de la franquicia de la banda A en el sur de México, lanza su red AMPS en 1990. Al final de Septiembre de 1999 tiene 85,000 suscriptores, arriba de 60,000, de un año anterior. Portatel encontró por sí mismo el centro de especulación en Octubre de 1999 cuando Iusacell anuncia fusión al hablar con los accionistas de la compañía.

Pegaso fue el primero de los nuevos operadores PCS en lanzar el servicio. Pegaso es una compañía de los medios de comunicación Grupo Televisa y varios proveedores financieros locales e internacionales. Pegaso, al cual le fueron otorgadas las licencias en las nueve regiones celulares del país, opera su red digital CDMA en Tijuana el 28 de febrero de 1999. Esto fue seguido en agosto y

septiembre por lanzamientos en Guadalajara y Monterrey, donde los planes del operador son invertir 350 millones de USD en 5 años. Un contrato inicial de 650 millones por una infraestructura de tres años fue firmado con Qualcomm en julio de 1998, mientras un suministro de equipo de cuatro años se le otorga a Alcatel en Noviembre de 1998.

Este ofrece una opción de tres paquetes, una de la cual es un servicio prepagado, y en agosto de 1999 introduce cargo por segundo, el único operador que lo hace. Pegaso prevé esto, y acopla su servicio totalmente digital, para 1.5 millones de clientes para finales del año 2000. A principios de diciembre de 1999, la compañía revela que piensa ofrecerle arriba del 49% de su equidad a un socio estratégico dentro de dos años y más tarde, el mismo mes que se anuncia esto, firma un acuerdo preliminar de 30.5% por aproximadamente 250 millones de USD.

De las otras compañías a las que se les otorgaron licencias PCS en 1998, la única que lanza un servicio comercial a finales de 1999 es Unefon, poseída por un hombre de negocios mexicano Ricardo Salinas Pliego. Unefon gastó mucho tiempo de 1999 en una búsqueda mayúscula con que pagar por la licencia móvil y la fija inalámbrica que ganó en mayo de 1998. La Cofetel tuvo que extender la fecha límite para pagar de Septiembre de 1998 a Marzo de 1999 y después de dos meses Unefon logra obtener el dinero efectivo suficiente para pagar 325 millones de USD de la deuda. Como resultado de sus dificultades financieras, Salinas, poseedor de la segunda televisora más grande en México -TV Azteca-, adquiere gran parte de la compañía, mientras que la familia Saba, acepta pagar 180 millones de USD. Unefon lanza su servicio inalámbrico digital para el año 2000 y espera atraer arriba de dos millones de clientes para el año 2004.

Una tercera licencia de PCS es arreglada para el operador Miditel, el cual obtiene concesiones para ofrecer servicios móviles en cuatro regiones incluyendo la Ciudad de México, un área con una población total de casi 50 millones de habitantes. Miditel, como Unefon, tiene dificultades durante 1999 para encontrar suficiente capital para pagar por la licencia y en mayo Cofetel revela que su concesión sería retirada. Miditel apela contra la decisión, diciendo que la razón económica internacional que la había llevado a sus problemas financieros era un factor más allá de su mando. Actualmente aún la SCT no ha dado una solución a la solicitud de Miditel (subsidiaria de Miditel) respecto a la continuación en el proceso de licitación de frecuencias, algunos operadores, en especial Pegaso han presentado su inconformidad ante las autoridades con el fin de que no se liberen dichas frecuencias a Miditel.

CAPITULO II

PRINCIPIOS DE TELEFONÍA CELULAR

2. Principios de Telefonía Celular

Después de los trabajos iniciales de Hertz en 1880, Marconi realizó varios trabajos experimentales y posteriormente llevó a cabo la transmisión por radio hacia un barco en 1897. Durante la 1ª guerra mundial, los sistemas de radio comunicación móvil tuvieron un uso muy limitado. Fue hasta 1921 cuando se instaló el primer sistema de radiotelefonía móvil para el departamento de Policía de la ciudad de Detroit. Este sistema operaba en la banda de los 2 [MHz], sin embargo, en la medida en que los adelantos tecnológicos y la demanda del servicio aumentaban, se inició la tendencia hacia mayores frecuencias.

En los años treinta varios canales se usaron sobre una base experimental.

Hacia mediados de los cuarenta se instalaron nuevos sistemas comerciales en las bandas de los 33 y 150 [MHz]. La operación de estos sistemas fue en un sólo sentido y se requería de un operador de teléfono para poder colocar la llamada. Además, el usuario tenía que buscar manualmente un canal que se encontrara libre.

Hacia mediados de los años sesenta se tienen nuevos sistemas en la banda de 150 [MHz] con operación en ambos sentidos, búsqueda automática de canales y marcación de y hacia la estación móvil. Sistemas semejantes se tuvieron hacia finales de la década en la banda de los 450 [MHz]. Ejemplos de estos sistemas son el MK (en la banda de los 150 [MHz]) y el sistema MJ (en la banda de los 450 [MHz]) diseñados por la Bell Telephone. Estos sistemas fueron parte o predecesores de lo que posteriormente se llamó el sistema IMTS (Improved Mobile Telephone System), el cual se convirtió en un estándar para los sistemas de telefonía móvil. Uno de los principales problemas con estos sistemas era que una llamada móvil no podía ser transferida de una estación base de radio a otra sin perder comunicación.

En resumen podemos decir que los sistemas predecesores al servicio celular adolecen de un rápido agotamiento del espectro radioeléctrico, ya que los alcances que se consiguen situando las estaciones base de gran potencia en lugares estratégicos redundan en una indisponibilidad de las mismas frecuencias sino hasta varios centenares de kilómetros de separación.

Fue por ello que en 1971 la Bell System propuso a la FCC un proyecto de sistema radiotelefónico de zonas múltiples y alta capacidad, recurriendo a la reutilización de frecuencias en zonas geográficas bajo el control de una estación central gobernada por una computadora y de señalización digital.

En 1978 en la ciudad de Chicago comenzó a instalarse en su fase experimental el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service), en la banda de los 900 [MHz], disponiendo de 666 canales (capacidad total). Este sistema, el cual es ya un sistema celular, cubrió en su fase experimental una extensión de aproximadamente 5400 [km²] con 10 células y 136 canales por cada 2000 abonados y después se instaló en 1983 en forma comercial con 666 canales y una capacidad inicial de 30000 abonados.

Paralelamente en Europa se instaló el primer sistema celular de tipo experimental en la banda de los 450 [MHz], denominado NMT (Nordic Mobile Telephone System). Este sistema entró en operación comercial en 1981 cubriendo gran parte de los países nórdicos y más adelante este mismo sistema se instaló en otros países europeos.

En Japón se instaló el primer servicio celular en 1979, en la banda de los 900 [MHz].

En los sistemas de radiotelefonía móvil celulares, el área a la que habrá de prestarse servicio se divide en zonas de menor tamaño llamadas celdas o células. En la medida que el número de suscriptores se incrementa, el tamaño de las celdas se redefine, haciéndose más pequeño o incrementándose el número total de celdas. En cada celda sólo se pueden usar un grupo de canales del total disponible. Para celdas que están suficientemente separadas se puede usar el mismo grupo de canales.

Un móvil que se sirve por este tipo de sistemas puede trasladarse en un área de servicio, pudiendo salir del área de cobertura de la estación base de la celda en que se encuentre. Para esto es necesario que el móvil sea atendido ahora por la estación base de la celda a la que está pasando. A este proceso se le conoce como transferencia de llamada y es una de las características principales en los sistemas de radio celular.

Aunque una mayor reutilización de frecuencias y la subdivisión de celdas permiten un uso más eficiente del espectro, también tienden a incrementar el número de transferencias de llamada.

La transferencia de llamadas de una célula a otra es fundamentalmente el proceso de transferir la unidad móvil que tiene una llamada en proceso en algún canal de voz a otra y sin interrupciones. La transferencia de llamadas puede ocurrir entre células adyacentes o sectores del mismo sitio celular. La necesidad de la transferencia de llamadas es determinada por la calidad actual de la señal de RF recibida del móvil al sitio celular.

A continuación se muestra una lista de los actuales tipos de sistemas celulares

Sistema Telefónico Móvil Avanzado: AMPS (Advanced Mobile Phone System) Es el estándar celular que fue desarrollado para uso en Norteamérica. Opera en la banda de frecuencias de los 800 MHz. El sistema AMPS también ha sido utilizado en Sudamérica, Asia, y Rusia.

Estándar de Telefonía Móvil del Nórdico NMT (Nordic Mobile Telephone standard) Es el estándar celular que fue desarrollado por los países nórdicos. Este sistema fue diseñado para operar en las bandas de frecuencias de los 450 y 900 MHz. Estas son conocidas como NMT 450 y NMT 900.

Sistema de Comunicaciones de Acceso Total TACS (Total Access Communications Systems) Es un estándar celular que fue derivado de la tecnología AMPS. El sistema TACS opera tanto en la banda de los 800 MHz como en la de los 900 MHz. El primero de estos sistemas se implementó en Inglaterra.

AMPS Digital D-AMPS Sistema Digital AMPS, también llamado **NADC** (North American digital cellular) es el estándar digital desarrollado para uso en los Estados Unidos.

Sistema Global para Comunicaciones Móviles, GSM (Global System for Mobile communications) Es el estándar europeo para sistemas celulares digitales que operan en la banda de frecuencias de los 900 MHz. Esta tecnología fue desarrollada de la necesidad de incrementar la capacidad de servicio que ofrecían los sistemas analógicos.

Acceso Múltiple por División de Código CDMA (Code-division Multiple Access) Es un estándar celular digital alternativo desarrollado en los Estados Unidos. CDMA utiliza el estándar IS-95 y está siendo puesto en práctica como la siguiente generación de celulares.

Sistema de Comunicaciones Personales (PCS) PCS es un nombre general dado a sistemas que han sido diseñados por la necesidad de mayor capacidad y flexibilidad de diseño que las provistas por los sistemas móviles. Hay muchos sistemas PCS que un operador puede utilizar.

DCS1800 DCS1800 es un estándar digital basado en tecnología GSM con la excepción que este tipo de sistema opera en la banda de frecuencia de 1800 MHz.

DCS1900 Este sistema es lo mismo que el DCS1800 y GSM. La única diferencia es que opera en la banda de frecuencias de los 1900 MHz.

Celular Digital Personal (PDC) PDC es un estándar celular digital desarrollado por Japón. El sistema PDC fue diseñado para operar en la banda de los 800 MHz y en la de 1.5 GHz.

IS-661 Esta plataforma tecnológica fue desarrollada por Omnipoint y es una tecnología de espectro disperso.

2.1 Sistema Celular

Una de las características más importantes de un sistema celular es la porción de espectro que utiliza, para ello, los operadores del sistema deben contratar dicho rango de frecuencias con las entidades pertinentes y políticas de cada país

Como ejemplo, en los Estados Unidos las áreas geográficas de operación están divididas en MSA (metropolitan statistical area) y en RSA (rural statistical area) Cada MSA y RSA tienen dos operadores celulares diferentes que ofrecen servicio. Los dos operadores celulares están referidos como los sistemas de banda A y de banda B

A cada operador celular se le proporciona 25 MHz de espectro para utilizar, 12.5 MHz para transmitir y 12.5 MHz para recibir

El espectro PCS en los Estados Unidos fue validado a través de un proceso impuesto por la FCC (Federal Communications Commission), organismo encargado de ello en este país, en México la comisión reguladora es la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) y llevó a cabo un proceso similar para otorgar concesiones en las mismas bandas de frecuencia que EU. La banda PCS fue dividida en los bloques A, B, C, D, E y F. Los bloques A, B y C envuelven un total de 30 MHz mientras que los bloques D, E y F 10 MHz. Los espectros se muestran en la figura 2.1

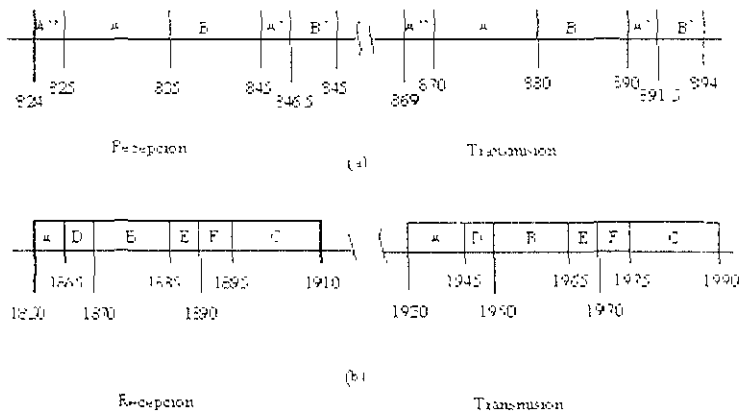


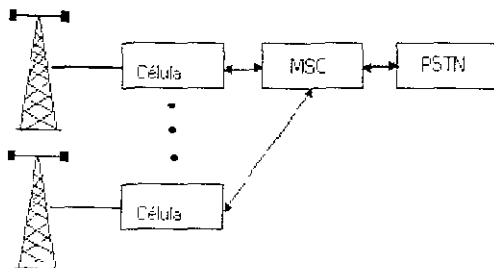
Figura 2.1 Espectro Celular (a) y espectro PCS (b) en México

2.1.1 Configuración genérica del sistema

Refiriéndose a la figura 2.2, el móvil se comunica al sitio celular a través del uso transmisiones de radio utilizando una configuración "full duplex". La configuración "full duplex" involucra el tener frecuencias separadas de transmisión y recepción usadas por el móvil y por el sitio celular. El sitio celular transmite en la frecuencia que la unidad móvil tiene sintonizada mientras que la unidad móvil transmite en la frecuencia que el receptor del sitio celular tiene sintonizada.

El sitio celular actúa como un conducto para la transferencia de la información convirtiendo la energía de radio en algún otro medio. El sitio celular envía y recibe información del móvil y del centro de conmutación móvil (MSC –Mobile Switching Center-) El MSC es conectado al sitio celular tanto por líneas T1 (en E.U) o E1 (en México), arrendadas o mediante un sistema de microondas. El sistema celular esta constituido de muchos sitios celulares los cuales se interconectan al MSC, también conocido como MTSO (Mobile Telephone Switching Office) en algunas áreas.

El MSC procesa la llamada y conecta el enlace de radio del sitio celular a la red telefónica pública. El MSC es el cerebro de la red y mantiene los registros individuales de los subscribers, el estado actual de los mismos, el ruteo de llamadas, y la facturación de la información.



MSC - Centro de ruteo móvil.
 PSTN - Red pública de servicios telefónicos

Figura 2.2 Sistema General Inalámbrico

2.1.2 Configuración Genérica del Sitio Celular

La figura 2.2 es un ejemplo de la configuración genérica del sitio celular. La configuración del sitio celular se muestra en la figura 2.3 que es un sitio celular monopolio. El sitio celular monopolio tiene un lugar adjunto en el que hospeda el equipo de radio transmisión. El monopolio, el cual esta cerca del equipo de radio, soporta las antenas usadas por el sitio celular en su parte mas alta.

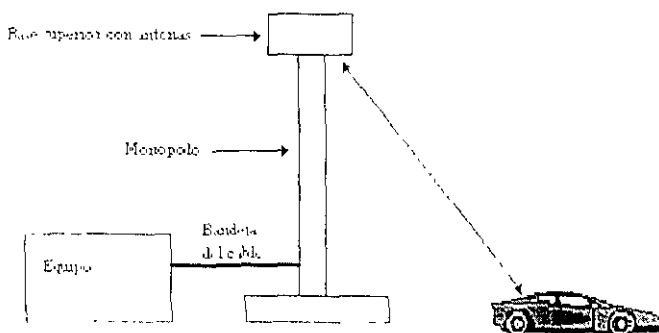


Figura 2.3 Sitio celular monopolio

El equipo de radio transmisión usado para una estación base celular se localiza en el cuarto de equipo (generalmente denominado "site"), como se ilustra en la figura 2.4

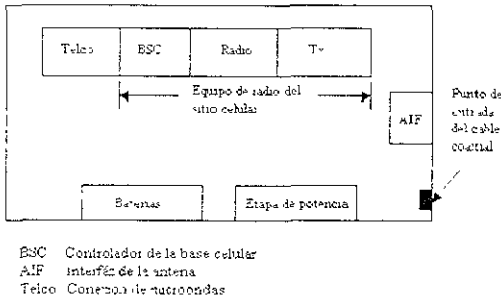


Figura 2.4 Equipo de radio transmisión de una estación base celular

El esquema del cuarto de equipo es el típico de un sitio celular. El equipo de radio del sitio celular consiste de un controlador de la estación base (BSC), la etapa de radio, y la etapa de amplificación (TX). El equipo de radio del sitio celular es conectado al AIF (Antenna Interface Frame) el cual provee el filtrado de recepción y transmisión. El AIF por lo tanto es conectado a las antenas en el monopolo a través del uso de cables coaxiales.

El sitio celular también está conectado al MSC mediante el Telco o puerto de interconexión. La etapa Telco provee conexión tanto a través de líneas T1 o E1 (generalmente con enlaces de microondas). La energía del sitio celular está asegurada con el uso de una etapa de potencia, la cual convierte electricidad de AC a DC. Las baterías son usadas en el sitio celular en el caso de alguna interrupción eléctrica para asegurar que el sitio celular continúe operando hasta que se restablezca la alimentación o las baterías se agoten. En algunos casos se utilizan generadores como respaldos.

2.1.3 Sistema de Radio

La configuración fundamental de un sistema de comunicaciones se muestra en la figura 2.5. En esta figura se observan los componentes más importantes en cualquier sistema de comunicaciones, los cuales consisten de antenas, filtros, transmisor, receptor, modulador, demodulador y etapa de propagación.

En cada componente se requiere que el ingeniero de RI considere todas las diferentes perturbaciones con el fin de alcanzar el diseño óptimo.

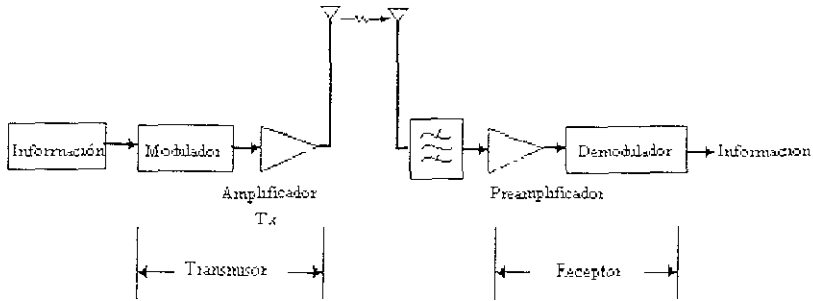


Figura 2.5 Sistema básico de radio

2.1.4 Radio difusión

El término de radio difusión puede tener varios significados. Típicamente la radio difusión comprende estándares de estaciones de radio difusión, AM de 535 a 1605 KHz, FM 88 a 108 MHz y estaciones de televisión (54 a 72, 74 a 88, 174 a 216, y 470 a 806 MHz).

En general un sistema de radio difusión incluye un transmisor con múltiples receptores dentro de su área de cobertura. Básicamente el transmisor manda información y los receptores traducen la información a un formato utilizable.

2.1.5 Duplex y simplex

Existen básicamente dos tipos de sistemas de comunicación por radio: simplex y duplex. El sistema simplex consiste en una sola frecuencia para transmitir y recibir, por lo que se puede hacer solo una de esas actividades en un determinado tiempo (es decir solo transmitir o recibir). El sistema simplex maximiza la utilización del espectro disponible.

En el sistema duplex (el cual puede ser full duplex o half duplex) utiliza dos frecuencias, una dedicada a transmisión y la otra a recepción. La principal diferencia entre duplex y simplex es la inclusión de un segundo canal de comunicaciones.

El Full duplex tiene la facilidad de recibir y transmitir información simultáneamente. Half duplex solo permite enviar o recibir aún cuando los dos canales estén disponibles para su uso.

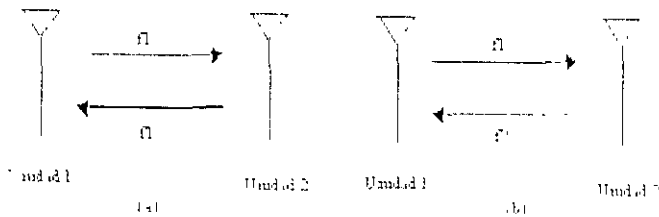


Figura 2.6 Sistema de radio convencional
(a) Sistema Simplex (b) Sistema Duplex

2.1.6 Plataformas tecnológicas

Existen muchas plataformas tecnológicas para el uso de comunicaciones inalámbricas. Algunos formatos se estructuran para sistemas de "paging" o radiolocalización y otros para sistemas móviles de voz y datos. Las plataformas que son usadas tienen ventajas y desventajas que se tienen que tomar en cuenta para la implantación de algún sistema, con el fin de tener una mejor eficiencia.

La mayoría de las plataformas tecnológicas se encuentran dentro de la categoría de radio digital. La tecnología de radio digital se ha desplegado en celulares con la intención de incrementar la calidad y la capacidad de los anteriores sistemas celulares.

En un sistema celular analógico la comunicación de voz es algunas veces digitalizada dentro del mismo sitio celular para transportarla al MTSO.

La digitalización permite aprovechar muchos aspectos y técnicas que no se pueden obtener en sistemas celulares analógicos. Muchas técnicas digitales han sido utilizadas en el área celular. Las técnicas digitales caen en dos categorías, acceso múltiple por división de tiempo y por división de código (TDMA y CDMA) para celulares.

Los mayores beneficios asociados con la utilización de un ambiente digital de radio son:

- ✓ Incremento de la capacidad
- ✓ Reducción de los costos de capital de la infraestructura
- ✓ Reducción de los costos por suscriptor
- ✓ Reducción del fraude celular
- ✓ Mejoras en las características para el usuario
- ✓ Mejoramiento en el desempeño percibido por el cliente
- ✓ Encriptación
- ✓ Alto nivel de privacidad

2.1.7 Espectro esparcido

Se utiliza el término de espectro esparcido para referirse a varias plataformas tecnológicas en el medio de las comunicaciones inalámbricas, en este tipo de sistemas, deliberadamente se ocupa más ancho de banda que el mínimo requerido para la transferencia de esa información, la razón de ello es obtener una mejor relación señal a ruido del sistema de comunicaciones.

Existen tres formatos básicos de espectro esparcido a saber:

- ◆ FDMA (Frequency-division multiple access) Acceso múltiple por división de frecuencia
- ◆ TDMA (Time-division multiple access) Acceso múltiple por división de tiempo
- ◆ CDMA (Code-division multiple access) Acceso múltiple por división de código

2.1.8 Radio Convencional.

La radio convencional es la forma mas común de comunicación, opera generalmente en las bandas de VHF (de 25 a 175 MHz) o en UHF (de 400 a 500 MHz).

Para incrementar la capacidad del sistema y extender las areas de cobertura se utiliza generalmente el método en que se colocan múltiples estaciones en el area de cobertura, a cada estación se le asignan un grupo de canales (frecuencias), de tal forma que entre dos estaciones adyacentes tengan diferentes canales asignados, con el fin de evitar la interferencia.

2.1.9 Paging o Radiolocalización

El paging o la radiolocalización es una plataforma tecnologica muy usada para el envio de mensajes individuales ya que provee un método muy efectivo principalmente por su bajo costo

En un principio sólo existía el de una vía en el que quien enviaba el mensaje nunca estaba seguro si este había llegado o no, actualmente ya se maneja el paging de dos vías.

En este sistema los subscriptores son esencialmente receptores de FM sintonizados a una determinada frecuencia, cada radiolocalizador o pager es capaz de decodificar la información generada por el transmisor y así reconocer cuando un código individual CAP fue enviado, con dicho código mismo que es unico para cada subscriptor o en algunos casos grupo de subscriptores (mensaje en grupo) el radiolocalizador que reconozca el mensaje como propio lo desplegará e informará al subscriptor mediante alguna alarma el que un mensaje nuevo ha llegado

Los sistemas de paging utilizan una gran variedad de protocolos, cada uno presente ciertas ventajas y desventajas. Los mas comunes son GOLFAY, PCAG, FLEX, APOC, ERMES, REFLEX e mFLIXon (estos dos últimos formatos se utilizan en los paging de dos vías para los PCS de banda angosta)

2.1.10 AMPS (Advanced Mobile Phone System)

Es el servicio que se conoció en un principio simplemente como celular, presenta dos características que lo hicieron ser muy especial el primero fue el reuso de frecuencias a pequeñas distancias y la segunda fue el "Hand-off" o transferencia de llamada entre una célula y otra, mientras se mantiene una conversación

El concepto de reuso de frecuencias se basa en la modulación en frecuencia se controla mediante la relación de "portadora a interferencia" C/I , esta relación está íntimamente ligada al espacio de separación entre células

Actualmente hay muchos tipos de patrones de reuso de frecuencia, algunos de ellos involucran $N = 1, 7, 8, 9, 12$ y 21 , donde N es el número de celdas con diferentes grupos de frecuencias. La separación entre células se determina a través de la relación D/R , llamada también razón de reuso, donde D es la distancia entre el centro de una célula y el centro de otra célula que tenga el mismo grupo de frecuencias asignado, y R es el radio de cada célula

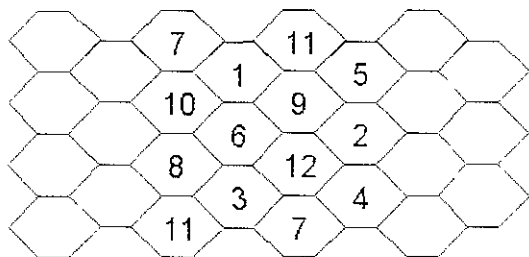


Figura 2.7 Cuadro de frecuencias N=12

El sistema AMPS es un sistema de tipo Full Duplex y la separación entre las frecuencias de transmisión y recepción es de 45 MHz, cada canal ocupa 30 KHz, el reuso de frecuencias permite optimizar el uso del espectro asignado para este servicio

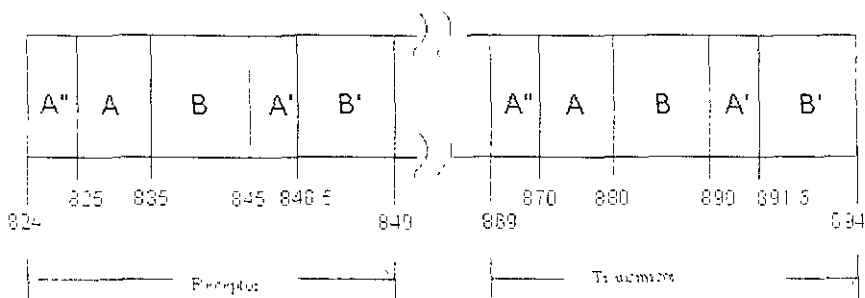


Figura 2.8 Espectro celular AMPS

En cuanto a las antenas ocupadas por este servicio pueden ser omnidireccionales, direccionales, e incluso una mezcla de ambas. La elección está determinada por los requerimientos de capacidad que se tengan de la red de forma que se mantenga un nivel determinado de C/I, asegurando una buena calidad en las llamadas.

2.1.11 TACS (Total Access Communications System)

Es un sistema celular muy común fuera de los Estados Unidos, es muy similar a AMPS. Las principales diferencias son las frecuencias de operación y la tasa de información (pues mientras AMPS utiliza 10 KHz, TACS ocupa solo 8 KHz).

Esta última diferencia permite que los canales estén más cercanos entre sí para el sistema TACS donde son de 25 KHz, frente a los 30 que mencionamos que se usaban para AMPS.

Esto hace ver a TACS más eficiente espectralmente. Además el que la tasa de datos sea menor significa que la señalización entre las estaciones bases y los móviles es menor.

2.1.12 IS-95 CDMA (Code-Division Multiple Access)

En CDMA se permite que múltiples usuarios utilicen el mismo canal de radio al mismo tiempo. CDMA ha sido y sigue siendo utilizado para comunicaciones de microondas punto a punto, comunicaciones satelitales y también en la milicia.

Operadores tanto de celulares como de PCS han utilizado IS-95, cuyas especificaciones son las mismas para un caso y el otro, la única diferencia son los rangos de frecuencia de cada uno de ellos.

Con CDMA, cada subscriber tiene un código único que lo diferencia de los demás usuarios.

Ventajas

- ✓ Se incrementa la capacidad del sistema más que en el analógico y que en FDMA
- ✓ Provee protección contra interferencia
- ✓ No requiere un plan de frecuencias entre los canales de CDMA
- ✓ Proporciona Hand-Offs gracias al Hand-Off suave
- ✓ Protección contra fraude debido a la encriptación y a la autenticación

CDMA esperece la energía de la portadora de RF como una función directa de la tasa del chip

El corazón de CDMA radica en el hecho de esparcimiento de la información inicial, el distribuir la energía sobre un ancho de banda amplio. En el receptor la señal es recuperada a través de un proceso inverso. Cuando la señal CDMA experimenta interferencias en la banda, el proceso de recuperar la información esperece al mismo tiempo la interferencia, minimizando de esta forma el impacto negativo en la información recibida.

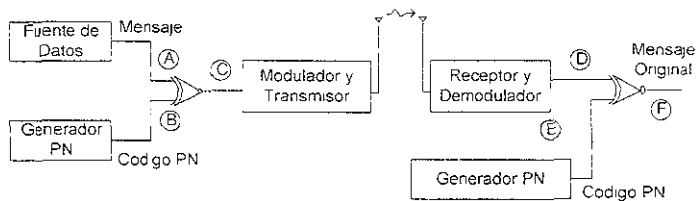
Al número de chips PN por bit de datos se le llama la ganancia del proceso y se representa por la siguiente ecuación: $G_p = B_c/B_d$. Otra forma de expresar la ganancia del proceso es con la potencia de interferencia que se reduce gracias al proceso de recuperar la señal. La ganancia del proceso es la mejora de la relación señal a ruido del sistema de espectro esparcido.

2.1.12.1 Handoff o transferencia de llamada en CDMA.

Existen tres tipos de Handoff: Soft handoff, Softer handoff y hard handoff. El primer caso ocurre cuando las bases celulares tanto la nueva como la anterior operan en el mismo canal de frecuencia de CDMA, el Softer handoff se presenta cuando el handoff ocurre dentro de la célula entre los sectores de un sitio celular. Finalmente el hard handoff se refiere cuando el handoff se da entre una llamada CDMA a una llamada analógica.

2.1.12.2 Canal de "ida" CDMA.

Consiste de un canal piloto, uno de sincronía, hasta 7 canales de paging y potencialmente 64 canales de tráfico. Es a través del cual se comunican las estaciones base con los subscribers.



A	B	C
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

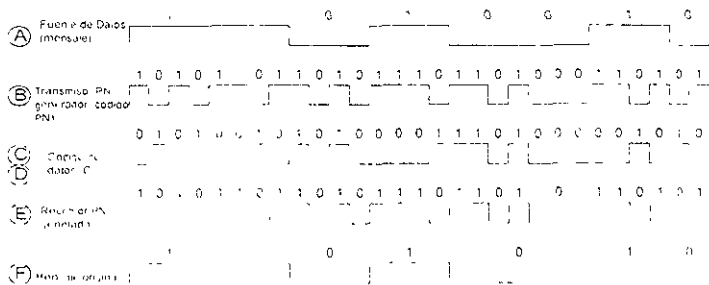


Figura 2.9 Sistema CDMA

2.1.12.3 Canal de "retorno" CDMA

La base celular esta continuamente monitoreando este canal para recibir cualquier mensaje que alguna unidad del suscriptor le pudiera enviar. Este canal consiste de un canal de acceso y uno de tráfico

2.1.13 NADC (IS-54 e IS-136) North American Digital Cellular

Se utilizó mucho el estándar IS-54, pero muchos operadores han convertido o están convirtiendo sus redes al IS-136.

Los operadores de PCS que han elegido el sistema NADC están empleando IS-136. Ambos estándares emplean la tecnología TDMA. En TDMA se permite a múltiples usuarios utilizar el mismo canal con el uso de la división en tiempo.

El IS-136 es la evolución de la especificación IS-54. El uso de IS-136 permite a los operadores ofrecer un servicio de mensajes cortos y un completo uso de canales de control digitales.

IS-54/136 utiliza el mismo ancho de banda por canal que el celular analógico (30 KHz por canal físico de radio). Aunque TDMA permite tres y posiblemente seis usuarios que operan en el mismo canal de radio al mismo tiempo. Un canal TDMA representa un total de seis "ranuras de tiempo" en dirección "frontal e inversa." Cada suscriptor utiliza dos de esas ranuras, pero existe la posibilidad de utilizar unos codificadores de voz de tasa un medio, con los cuales se requiere solo de una ranura de tiempo por suscriptor.

Ventajas

- ✓ Incrementa la capacidad del sistema más de tres veces que en el analógico
- ✓ Implementa protección contra interferencia entre canales adyacentes
- ✓ Provee Autenticación
- ✓ Privacidad en los canales de voz
- ✓ La infraestructura requerida es de bajo costo
- ✓ Plan de integración de frecuencias mayor a CDMA
- ✓ Mensajes cortos de "Paging"
- ✓ Encriptación
- ✓ Canales de control digitales

La implementación de TDMA en un sistema celular pre-existente se puede hacer más fácilmente que para CDMA.

El uso de TDMA en una red requiere utilizar una banda de guarda para proteger al sistema analógico del de TDMA. Dicha banda de guarda consiste únicamente de un canal entre ambos sistemas, o alrededor del espectro que ocupará TDMA, según donde se desee ubicarlo.

Las ranuras de tiempo son agrupadas en pares para un codificador de voz de tasa completa, una cierta conversación A utilizará las ranuras de tiempo 1 y 4, otra conversación B empleará las ranuras 2 y 5, y finalmente la conversación C podrá ocupar 3 y 6.

El esquema de modulación empleado por TDMA es DQPSK. El E_b/N_0 Los niveles de C/N_0 son los mismos que para el analógico 17 dB, aunque muchos operadores están ya utilizando 20 dBs.

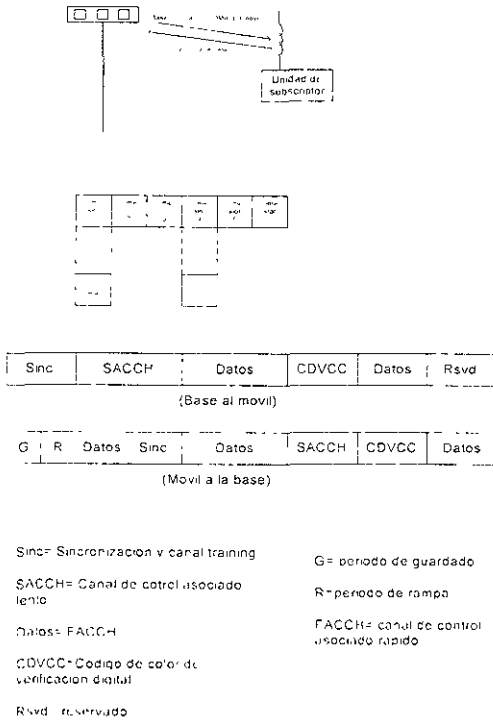


Figura 2-10 Sistema TDMA

2.1.14 GSM (Global System for Mobil Communications)

Esta plataforma tecnológica ha ganado una gran aceptación en el mundo entero. Existen varios sistemas a los que se les llama GSM. Aunque cada uno de los diferentes sistemas ocupa una banda de frecuencia diferente. Las tres plataformas tecnológicas que utilizan GSM como el sistema estándar son GSM, DCS1800 y DCS1900 ó PCS1900. La única diferencia entre estos tres sistemas mencionados son que operan en diferentes bandas de frecuencias, por lo demás, tanto en los parámetros y en su funcionalidad son iguales. La banda en la que se opere depende del país donde se quiere implementar el sistema, GSM opera en el rango de los 900 MHz, DCS1800 en los 1800 MHz, y DCS1900 ó PCS1900 en los 1900 MHz.

Un sistema GSM consiste de un sistema de conmutación, un sistema de estación base, un sistema de soporte de operaciones, y las unidades del subscritor. Cada uno de dichos sistemas esta a su vez compuesto por un gran número de subcomponentes.

El centro de conmutación Móvil (MSC –Mobile Switching Center-) realiza la conmutación básica para la red GSM, incluyendo el ruteo de llamadas provenientes y hacia los suscriptores, el MSC es el corazón de la red GSM y la conecta con la Red Telefónica Pública conmutada (RTPC ó por sus siglas en inglés PSTN), o con otras redes GSM a través de gateways

El HLR (Home location register) es la base de datos principal usada para la administración de los suscriptores que pertenecen a esa red GSM, típicamente un sistema GSM puede tener varias HLRs.

La VLR, (Visitor Location register) es una base de datos similar a la HLR, pero es dinámica ya que contiene la información acerca de los suscriptores que pertenecen a otro MSC

El AUC (Authentication center) esta conectado al HLR, su propósito es proveer al HLR de los parametros de autenticación y cifrado de llaves de la unidad del suscriptor

El sistema de la estación base consiste del controlador de la estación base (BSC) y la estación transceptora de la base (BTS) El BSC puede estar colocado en el MSC o remotamente, dependiendo de las características del diseño, su función es conectar a las BTSs con la MSC, el numero de BTSs que puede manejar un MSC es también variable y de acuerdo al diseño La BSC es la responsable de controlar las BTSs y los handovers Los BTSs son los sitios celulares individuales que contienen elementos de radio, estos están diseñados para proveer un enlace de radio entre los suscriptores móviles y la estación base Una BTS puede ser omni o direccional y puede también tener varios radios GSM por celula o sector

2.1.15 CDPD Cellular Digital Packet Data

Es un servicio de datos empaquetados utilizando su propio estandar de interfaz aerea Los sistemas CDPD utilizados por los operadores celulares representan un servicio de comunicaciones de datos separado, el cual físicamente comparte los sitios y el espectro celular

CDPD puede tener muchas aplicaciones, pero es recomendable para transferencia de mensajes cortos y no para transferencias de grandes archivos, se podría utilizar para correo electrónico validaciones de tarjetas de crédito, posicionamiento global, etc

El sistema terminal móvil (MTS) es un dispositivo de computo portátil e inalámbrico que se mueve alrededor de la red CDPD comunicándose con la MDBS (puede ser una laptop con un módem celular), la cual es la estación de la base de datos de los móviles, la cual reside en la celula y puede utilizar parte o toda la infraestructura del sistema celular para transmitir y recibir los paquetes de datos

La MDBS (Mobile DataBase Station) que reside en la celula, puede utilizar la misma infraestructura que el sistema celular para transmitir y recibir los datos La MDBS se encarga de enlazar los MTS con el MDIS (Mobile Data Intermediate System), este hace las funciones de ruteo para la red CDPD, al unir varios MDIS se va generando la red CDPD

El MDIS se conecta a un ruteador o gateway con lo que se llegara a las funciones de capa 1 de transporte y a capas superiores

2.1.16 *Tecnologías de radiotransmisión empleadas en México y el mundo*

Como se ha visto a lo largo de este capítulo, las tecnologías de radiotransmisión son muy diversas, y ahora con el comienzo de la llamada tercera generación de celulares hay nuevos jugadores que quieren entrar en acción, con el fin de unificar tecnologías, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se ha hecho a la tarea de buscar estándares que definan las características de los sistemas del futuro (IMT-2000)

Si se admite que el mayor impacto en las telecomunicaciones modernas estará dado por los sistemas móviles personales, se puede fácilmente deducir el interés mundial por las bandas de frecuencias que brinden las características óptimas de operación de estos sistemas: menor potencia, mayor ancho de banda posible, mejor penetración y cobertura, menor efecto por velocidad de desplazamiento, por citar las más relevantes. Bajo este principio, las bandas que han sido identificadas como las que tienen las mayores ventajas para los futuros sistemas de comunicación móvil se sitúan entre 1885 y 2200 Mhz, precisamente donde se han enfocado los esfuerzos mundiales de atribución común.

Existen hoy en día tres grandes regiones reconocidas por la UIT, la primera liderada por los países europeos y que incluye además el continente africano y parte del Medio Oriente, la Región 2 de las Américas, liderada por los Estados Unidos de Norteamérica y la Región 3, que comprende Asia y Oceanía cuyo liderazgo japonés se ha visto desafiado recientemente por China y los mayores países líderes del Sudeste Asiático. En cada región la evolución en la atribución de frecuencias ha seguido cursos distintos, generalmente marcados por aplicaciones militares o desarrollos tecnológicos de las empresas líderes industriales de la zona. Así, mientras que los países europeos unificaban criterios y adoptaban las bandas de 1710 a 1785 Mhz y de 1805 a 1880 Mhz para una segunda generación celular, en su mayoría GSM, la administración norteamericana no podía utilizar el bloque de 1710 a 1850 por estar reservado a fines militares, viéndose obligada a generar una opción equivalente de contraparte que se denominó PCS o Sistemas Personales de Comunicación de 1850 a 1910 Mhz y de 1930 a 1990 Mhz.

Por su parte México tiene una larga frontera terrestre con los Estados Unidos de Norteamérica y acuerdos de reciprocidad y protección de señales radioeléctricas transfronterizas. La importancia de tender hacia un mercado común nos obliga a alinear en lo posible la atribución de frecuencias nacionales con aquella de nuestros vecinos y principales socios comerciales. Por estas razones en 1995 se inició en nuestro país el proceso de atribución y subasta de frecuencias para servicios de PCS en las mismas bandas asignadas en Estados Unidos y Canadá, de igual manera como ya se habían concesionado en 1991 las frecuencias de telefonía celular en las bandas de 824 a 849 Mhz y de 869 a 894 Mhz.

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones celebrada en Ginebra en 1997, las Delegaciones se pronunciaron por la adopción de una banda de frecuencias para acceso móvil global, sujeta a condiciones técnicas y de mercado, bajo una norma operativa común a desarrollar denominada IMT 2000. Desafortunadamente, las frecuencias identificadas entonces para ese fin, de 1885 a 2025 Mhz y de 2110 a 2200 Mhz incluyendo las sub-bandas para el componente satelital de 1980 a 2010 Mhz y de 2170 a 2200 Mhz, continuaban siendo incompatibles con las atribuciones de la Región 2, poniendo en entredicho las importantes inversiones en frecuencias e infraestructura que los operadores y concesionarios habían ya realizado en PCS. La industria europea ha contribuido de una manera eficaz a la elaboración de la norma de la tercera generación para los sistemas IMT 2000.

o UMTS, al grado de convencer tanto a los principales operadores móviles como a los organismos reguladores europeos de subastar las bandas apareadas terrestres (60 Mhz de 1920 a 1980 Mhz y de 2110 a 2170 Mhz) alcanzando en algunos casos valores cercanos a los 700 Millones de USD por Mhz, cantidad que parece muy elevada considerando que aún no existe realmente el producto UMTS sino en fase de prototipo. Pero a pesar de las expectativas creadas por los sistemas UMTS que sin duda han trascendido el continente europeo (Australia acaba de anunciar la subasta de las mismas frecuencias) es incuestionable el notable crecimiento que la telefonía móvil ha venido experimentando mundialmente en los últimos años, marcando una tendencia que podría mantenerse por los siguientes cinco o seis años, lo que ha llevado a los fabricantes a preguntarse si habría suficiente espectro disponible para que a pesar de las innovaciones pudiera satisfacerse la demanda prevista.

En reuniones regionales previas y durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones celebrada en Estambul el pasado mes de Junio de 2000, el tema de la disponibilidad de frecuencias para nuevas generaciones incluida la actual 3G, resultó muy relevante y discutido y como en 1997, el Secretariado de la UIT nuevamente aprovechó la propuesta de frecuencias adicionales a las ya atribuidas para IMT 2000, para reiterar su intención de lograr una armonización de frecuencias a nivel mundial que favorezca la prestación de servicios móviles globales. Se han identificado bandas que en la Región 2 se encuentran asignadas a servicios concesionados cuyo despeje podría ser costoso y/o legalmente cuestionable: se trata de la banda de 1710 a 1885 Mhz ya anteriormente comentada y la de 2500 a 2690. Sin embargo, se recomienda estudiar las condiciones particulares de cada país o región y analizar las posibilidades de evolución de la primera y segunda generación hacia la 3G en las mismas bandas de frecuencias usadas actualmente, dependiendo de las exigencias del mercado y de las propias regulaciones nacionales. Como consecuencia práctica de esta recomendación se creó un grupo multinacional de estudio (Grupo 81) con subgrupos regionales que han comenzado a reunirse. (En la Región 2 el grupo se denomina CTEI. 81 y se ha reunido en San Diego California a finales de Agosto y tendrá su próxima reunión en Rio de Janeiro, Brasil del 2 al 4 de Octubre del presente año). El 12 de Julio del 2000 la FCC recibió de parte de la Asociación de Industrias de las Telecomunicaciones Celulares (CITA) el requerimiento para iniciar de inmediato un procedimiento de identificación de bandas para el desarrollo del IMT 2000 en los Estados Unidos, advirtiendo que el retraso o la pérdida de oportunidad podría tener serias consecuencias para los consumidores, los fabricantes y los proveedores de servicios de ese país. El 28 de Agosto del 2000 la FCC recibió también los comentarios de WorldCom sobre el tema, manifestando su completo rechazo a ceder al proyecto IMT 2000 las frecuencias de 2500 a 2700 Mhz en las cuales señala, ha invertido recientemente más de un billón de US dolares a lo que habrán de sumarse las inversiones en desarrollo tecnológico de varios proveedores. Argumenta que la armonización global no es un requerimiento obligatorio derivado de la CMR 2000 de Estambul y que el mercado de viajeros transcontinentales es demasiado pequeño frente a los costos de despeje, como se ha demostrado con los sistemas globales satelitales que han fracasado. Indica asimismo que técnicamente resulta más cara de fabricar una terminal multimodo (GSM-CDMA-CDMA) que una multibanda. Por su parte la Asociación Internacional de Comunicaciones Inalámbricas (WCA) que agrupa cerca de 100 socios, principalmente empresas proveedoras de servicios de acceso fijo inalámbrico de banda ancha, se ha manifestado igualmente en contra de la posibilidad de otorgar mayor espectro a los sistemas móviles en detrimento de bandas de acceso fijo de gran capacidad y cobertura.

En cuanto a la propia FCC, su posición es clara a promover una evolución del PCS hacia la tercera generación en sus mismas bandas, tal como lo ha manifestado la Delegación de Estados Unidos para la reunión del grupo CTEI. 81 en Rio de Janeiro, apoyada en las recomendaciones de las resoluciones 223 y 224 de la CMR 2000. En otras palabras, se anticipa que la introducción inicial del IMT 2000 en Estados Unidos se llevara a cabo en las mismas bandas usadas actualmente para el

celular y el PCS. Esta medida inicial reduce las tensiones generadas y brinda la oportunidad de revisar las opciones para las bandas adicionales. Otra opción, la cual algunos funcionarios de FCC la consideran menos viable a corto plazo pero igualmente factible, es el despeje de las aplicaciones militares de toda la extensión de la banda de 1710 a 1850 Mhz lo que permitiría tener dos bloques apareados de 45 Mhz cada uno, de 1710 a 1755 Mhz y de 1805 a 1850 Mhz lo cual los alinearía con la segunda generación europea permitiendo la mayor compatibilidad de frecuencias a nivel mundial, facilitando además la migración de los sistemas PCS gracias a la continuidad en las bandas de frecuencias.

Finalmente, la industria norteamericana considera que el desarrollo tecnológico permitira a mediano plazo facilitar la interoperabilidad móvil mundial, particularmente con la comercialización de los "Software Defined Radios", es decir terminales autoprogramables que identificarán los sistemas existentes en cada país y de encontrarse en alguno de ellos, se programarán automáticamente para operar en la modulación y en las bandas de frecuencias adoptadas por ese país o por esa Región.

Por el momento no existe mayor peligro de obstaculizar la entrada en México de la tercera generación móvil con la licitación de las frecuencias de retorno, denominadas MDS1 2 (-2150 a 2162 Mhz- (que pueden ser utilizadas sin interferencia, teniendo cada una 6 Mhz de ancho de banda que pueden ser utilizadas como retorno simétrico o asimétrico según el número de canales de ida asignados al servicio de acceso), pues todo parece indicar que su introducción en la Región 2 a la que pertenecemos, se llevara a cabo en las mismas frecuencias celulares y de PCS, lo cual beneficia a los concesionarios existentes.

Algunas de las tecnologías que compiten por ser los estándares para la tercera generación se muestran en la siguiente tabla 2.1

Tecnología	Descripción	Ambiente en que opera				Origen
		Interiores	Peatones	Vehículos	Satélites	
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications	✓	✓	✓	✓	ETSI
UWC-136	Universal Wireless Communications	✓	✓	✓	✓	USA
WIMIS W-C-CDMA	Wireless Multimedia & Messaging Services Wideband	✓	✓	✓	✓	USA
TD-SC-CDMA	Time Division Synchronous CDMA	✓	✓	✓	✓	China
W-C-CDMA	Wideband CDMA	✓	✓	✓	✓	Japon
CDMA-2000	Asynchronous DS-SS CDMA	✓	✓	✓	✓	Corea del Sur
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access	✓	✓	✓	✓	ETSI
NA W-C-CDMA	North American Wideband CDMA	✓	✓	✓	✓	USA
CDMA-2000	Wideband CDMA (IS-95)	✓	✓	✓	✓	USA
CDMA-1	Multi-band Synchronous DS-SS CDMA	✓	✓	✓	✓	Corea del Sur
SAT-C-CDMA	Satellite-based CDMA system	✓	✓	✓	✓	Corea del Sur
SW-C-CDMA	Satellite-based Wideband system	✓	✓	✓	✓	Agencia Espacial Europea
SW-C-11CDMA	Satellite Wideband hybrid CDMA/11CDMA	✓	✓	✓	✓	Agencia Espacial Europea
ICORBIT	ICOR developed satellite system	✓	✓	✓	✓	ICORBIT
Horizons	Immortal-developed satellite system	✓	✓	✓	✓	Immortal

Tabla 2.1 Tecnologías que compiten por ser los estándares para la tercera generación

En el caso de México, han entrado recientemente nuevos proveedores cuyas tecnologías podríamos clasificarlas como de segunda generación, sin embargo aún se siguen utilizando servicios analógicos, en la tabla 2.2 se resumen las principales tecnologías de telefonía celular empleadas y en la tabla 2.3 se mencionan a los otros operadores en México

Proveedor	Estándar	Tecnología	Bandas de frecuencias (MHz)	Tipo de Modulación	No. De usuarios por canal	Ancho de cada canal
Telcel	AMPS	FM	800	FM	1	30 KHz
Telcel	IS-136	TDMA	800/1900	$\pi/4$ DQPSK	3	30 KHz
Iusacell	AMPS	FM	800	FM	1	30 KHz
Iusacell	CDMA	CDMA	800/1900	QPSK	64	1.23 MHz
Pegaso	CDMA	CDMA	1900	QPSK	64	1.23 MHz
Unefon	CDMA	CDMA	1900	QPSK	64	1.23 MHz

Tabla 2.2. Principales tecnologías de Telefonía Celular Empleadas en México

Proveedor	Estándar	Tecnología	Bandas de frecuencias (MHz)
Nextel	IDEN	TDMA	800
Cedotel	CDMA/AMPS	CDMA/AMPS	800
Baja Celular	CDMA/AMPS	CDMA/AMPS	800
Movitel	CDMA/AMPS	CDMA/AMPS	800
Norcel	CDMA/AMPS	CDMA/AMPS	800
Telcel	GSM	TDMA	1900

Tabla 2.3 Otros operadores en México

2.2 Tercera Generación de Telefonía Celular

La globalización, la mayor movilidad de la mano de obra y los cambios en los hábitos laborales y de ocio están exigiendo la elaboración de una única norma mundial para las comunicaciones móviles. Los usuarios son demasiados conscientes de las limitaciones del sistema actual. Pero además, para los operadores y los fabricantes de telefonía celular el actual exceso de normas es como una especie de jaqueca, aún cuando pueda beneficiar a empresas que posean ventajas competitivas en una tecnología determinada.

Por estas razones, hay varios trabajos que se están realizando para lograr la tercera generación de redes celulares.

La UIT está trabajando en las denominadas IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000), que harán posible comunicarse desde cualquier parte en cualquier momento gracias al funcionamiento sin interrupción de las terminales móviles en todo el mundo, con una capacidad de banda ancha que permitirán el servicio inalámbrico multimedia.

A su vez un grupo de fabricantes de teléfonos móviles y redes celulares creó el WAP Forum con el fin de tener un estándar mundial para la inclusión de capacidades multimedia en los terminales celulares.

Los sistemas de la tercera generación, o sistemas 3G, como se los denomina frecuentemente, ofrecerán mucho más que las actuales redes móviles dedicadas fundamentalmente a la telefonía vocal. El teléfono portátil del futuro será un tipo de equipo completamente nuevo, una combinación de diferentes productos ya existentes en la actualidad.

Muchos analistas esperan que la telefonía móvil del mañana sea el producto de la convergencia de las industrias de las telecomunicaciones y la computación, un híbrido de computadora portátil y teléfono móvil con más funcionalidades incluso de las que pueden ofrecer hoy cada una de estos elementos por separado.

Este dispositivo híbrido combinará una amplia gama de funciones diferentes en un solo aparato de bolsillo. Posiblemente las terminales se activarán con la voz, lo cual eliminará la necesidad de los teclados y estarán provistos de una pantalla flexible y extraíble para videotelefonía, servirán como ordenador portátil que podrán conectarse rápida e ininterrumpidamente a la red distante de la empresa, será un dispositivo de comunicaciones capaz de enviar y recibir datos, voz, sonido e imágenes y una secretaria electrónica que nos recuerde nuestro programa diario, nos prepare las citas, nos haga las llamadas de rutina y nos conecte automáticamente a reuniones virtuales por medio de sus funciones de audio y videoconferencia.

Este nuevo comunicador personal contará con un único número de teléfono vitalicio. Un dispositivo como éste, siempre en funcionamiento y con una carga de batería que se mide en días y no en horas, estará constantemente conectado a Internet. Nos despertará por la mañana y nos acompañará a la oficina, por la calle y al estadio de fútbol. Estará a nuestro lado en el avión que nos lleve a Río de Janeiro o a Londres, o a cualquier lugar entre ambos, recopilando y procesándonos la información que le hayamos pedido encontrar o supervisar, titulares de noticias con fotografías, informes meteorológicos, boletines de investigación, correo electrónico de video y cualquier tipo de información de la que nosotros podamos disponer en nuestra computadora en la oficina.

Por ejemplo para transacciones bancarias, nos permite ahora pagar directamente a través del teléfono móvil sin necesidad de una tarjeta de crédito o de recargo directo. El propio teléfono

establece contacto con el ordenador del banco, verifica el crédito disponible o comprueba el balance de la cuenta y registra la deuda cuando se hace una compra. A través de marcación por la voz, podemos pedir a nuestro teléfono que marque números, se conecte con el buzón vocal de otra persona o recupere mensajes.

Con tan numerosas ventajas potenciales y un número de usuarios en rápido crecimiento, la elaboración de una norma para los móviles de tercera generación ha sido uno de los proyectos más ambiciosos de la UIT. El IMT-2000, propuso un sistema malambriero de banda ancha mundial unificado, capaz de transmitir velocidades de datos de hasta 2 Mbit/s y utilizable en cualquier parte del mundo, incluso en sitios no accesibles a los teléfonos celulares corrientes, sin embargo esto se descartó por la falta de una banda libre en todo el mundo.

2.1.1 Los elementos esenciales de la 3G

Al diseñar el tipo de sistema móvil que satisfaga las exigencias de los usuarios a partir del año 2000, se pueden identificar varios factores esenciales para el éxito de la siguiente generación de las comunicaciones móviles.

2.2.1.1 Alta velocidad

En primer lugar, determinaron que todo nuevo sistema debe poder admitir servicios de banda ancha de alta velocidad, como el acceso rápido a Internet o las aplicaciones de tipo multimedia. La demanda de tales servicios está creciendo rápidamente.

Algunos analistas prevén que el mercado de servicios de banda ancha alcanzará los 10 000 millones USD en 2010. Los usuarios del futuro esperarán poder acceder a sus servicios favoritos desde su equipo móvil tan fácilmente como desde su equipo fijo.

2.2.1.2 Flexible

En segundo lugar, el sistema tiene que ser lo más flexible posible, y admitir nuevos tipos de servicios tales como la numeración personal universal y la telefonía por satélite que amplíen significativamente el alcance de los sistemas móviles, beneficiando tanto a los consumidores como a los operadores.

2.2.1.3 Accesible

En tercer lugar, el sistema tiene que ser por lo menos tan accesible como los sistemas móviles actuales.

2.2.1.4 Compatible

En cuarto lugar, y tal vez lo más importante, todo sistema de nueva generación debe ofrecer una vía evolutiva, eficaz para las redes existentes. Si bien el surgimiento de los sistemas digitales a comienzos del decenio de 1990 conllevó a menudo el abandono de las redes analógicas anteriores, las enormes inversiones afectadas en el desarrollo de las redes celulares mundiales de segunda generación durante el último decenio hacen totalmente impensable algo similar para la tercera generación.

2.2.2 IMT-2000

La UIT está trabajando actualmente en uno de los mas ambiciosos proyectos que jamás haya emprendido: una federación de sistemas de telecomunicaciones móviles de tercera generación que proporcionará acceso inalámbrico a la infraestructura mundial de telecomunicaciones gracias a la conexión mundial ofrecida a través de sistemas tanto de satélites como terrenales y que dará servicio a los usuarios fijos y móviles de redes públicas y privadas. Las denominadas IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) harán posible comunicar desde cualquier parte en cualquier momento gracias al funcionamiento sin interrupción de los terminales móviles en todo el mundo.

Las 2 principales razones detrás de la necesidad de una tercera generación de redes celulares son

- El explosivo crecimiento de la Internet y la World Wide Web (WWW), que genero un gran interes en un gran número de servicios nuevos para los cuales los usuarios móviles demandan un gran ancho de banda (e-mail, imágenes, multimedia)
- El usuario móvil espera poder acceder a esos servicios desde cualquier parte en el mundo usando el mismo terminal, independientemente de su ubicación geográfica

Dado que la actual generación de celulares (segunda generación) no puede soportar ni el ancho de banda requerido por los nuevos servicios ni el roaming necesario (debido a la diversidad de tecnologías regionales diferentes que aún coexisten), la necesidad del la 3G y el objetivo de la IMT-2000 es mas que claro.

La figura 2.12 contiene el cronograma de la implementación del IMT-2000

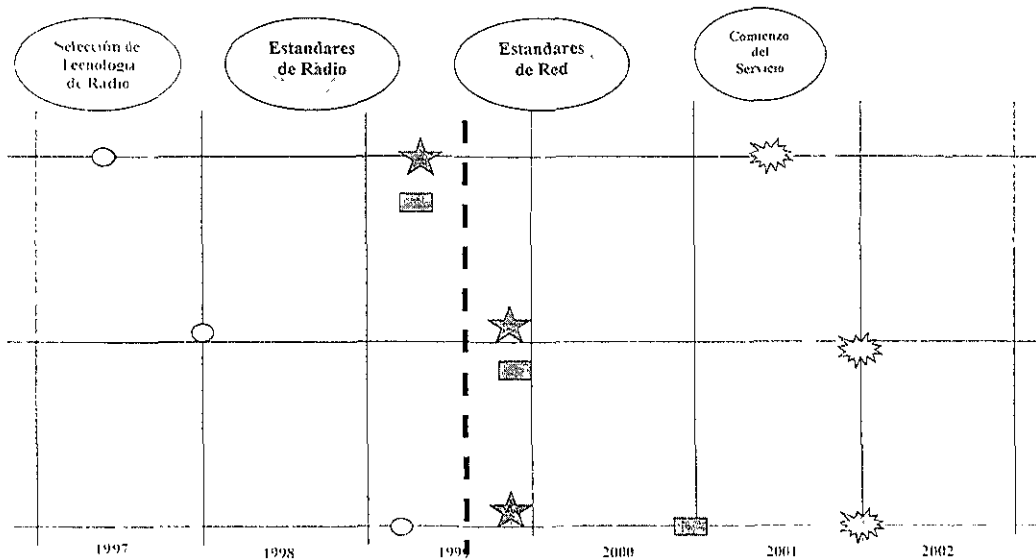


Figura 2.12 Cronograma de Implementación del IMT-2000

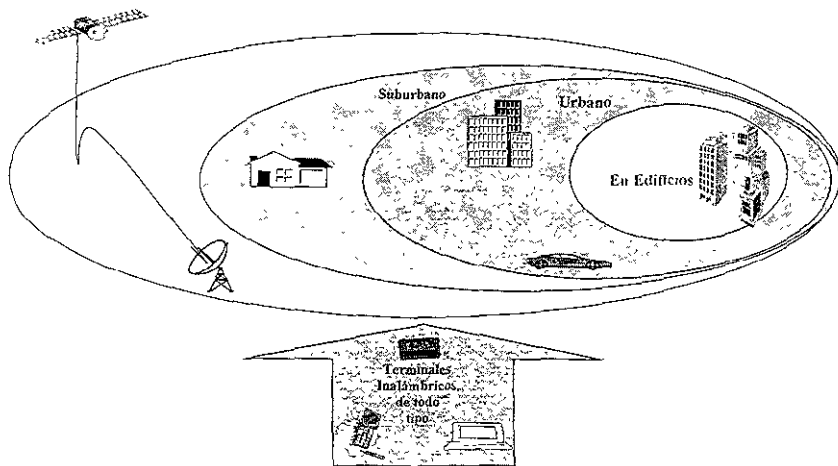


Figura 2.13 Figura de Comunicación

2.2.3 Principios claves del IMT-2000

2.2.3.1 Mayor rango de servicios

- Además de la voz, la cual continuara siendo la mayor fuente de tráfico las redes IMT-2000 deberán soportar un gran rango de servicios tales como datos de alta velocidad, audio y videoconferencia en tiempo real, acceso a la WWW, etc. Las redes IMT deberán soportar estos servicios en un gran rango de densidades de usuarios y áreas de coberturas como se muestra a continuación en la tabla 2.3

Provisión de entornos de 'casa virtual', o sea que el usuario debe recibir el mismo servicio independientemente de su ubicación geográfica, y con una calidad comparable a los servicios cableados

- Provisión de servicios FWA (Fixed Wireless Access), los cuales dan servicio telefónico básico e ISDN de banda angosta. Estos servicios son muy adecuados para países en desarrollo
- Provisión de servicios multimedia asimétricos, dando ancho de banda sobre demanda para mejorar la eficiencia y bajar los costos de la segunda generación. Estos servicios se basan en la tecnología ATM

Entorno Operativo	Máxima velocidad Terminal	Velocidad del Pico
Rural	250 Km/h	144 Kbps (preferible 384 Kbps)
Urbano/Suburbano	150 Km/h	384 Kbps (preferible 512 Kbps)
Dentro de un Edificio/Campus	10 Km/h	2Mbps

Tabla 2.4 Servicios y entornos operativos

2.2.3.2 *Arquitecturas unificadas y flexibles*

- La red IMT-2000 deberá estar integrada con la red de telecomunicaciones fija, para proveer una comunicación sin fronteras en cada situación.
- La red IMT-2000 deberá ser lo suficientemente flexible como para que se puedan introducir nuevas funcionalidades y servicios a medida que se requieran. Una arquitectura modular y abierta permitirá comenzar desde un sistema simple y básico para después migrar, de acuerdo a las necesidades, a un sistema mayor, en tamaño y complejidad.

2.2.4 *La evolución de la red hacia el IMT-2000*

Dado el éxito obtenido por el desarrollo de la tecnología celular de segunda generación, la evolución hacia el IMT-2000 enfrenta el problema de la preocupación de los operadores celulares actuales por migrar hacia esta red celular de 3G usando la plataforma instalada de 2G, que es relativamente reciente y aún no amortizada, lo más que se pueda.

Para esto se han estudiado evoluciones a partir de tecnologías de 2G, las cuales permitirían una migración más plana y menos dolorosa hacia la 3G. Estas formas de evolución permiten a los operadores no solo proteger la inversión realizada en su red, sino también introducir nuevos servicios en cuanto son requeridos por sus clientes.

Si bien estas evoluciones son las recomendadas, los operadores celulares generalmente saltan algunos pasos, de acuerdo con sus propias estrategias de migración.

A continuación se mencionan los dos esquemas de migración basados en tecnologías existentes: GSM y CDMA.

2.2.4.1 *Evolución desde GSM*

GSM es la tecnología celular digital de 2G usada en muchos países, especialmente en Europa.

En la figura 2.14 se describe la evolución desde el GSM.

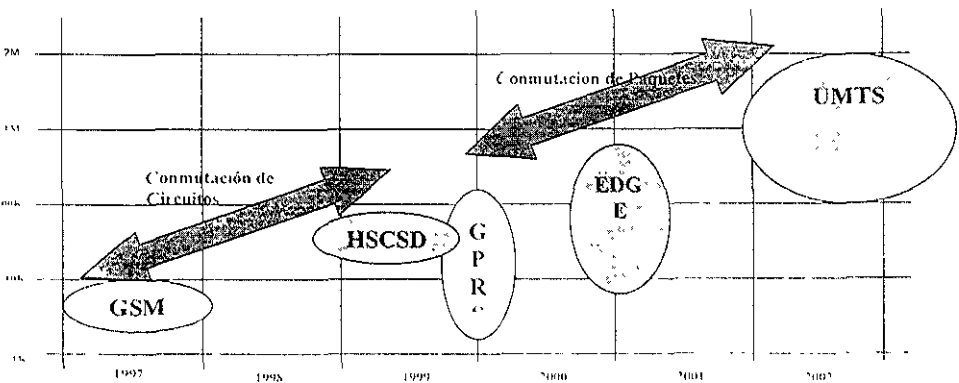


Figura 2.14 Evolución hacia IMT-2000 desde GSM

Como se puede apreciar en la grafica 2.14, esta evolucion consta de 3 pasos intermedios antes de llegar al IMT-2000: HSCSD, GRPS y EDGE, para por último llegar a UMTS (IMT-2000). Estas tecnologías incrementales son también llamadas también 2.5G.

- *HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)*

Basado en conmutación de circuitos, permite velocidades de transmisión de hasta 57.6 Kbps. Requiere solo una migración de software de las redes celulares actuales, con lo cual su costo de implementación no es muy alto. Si bien permite una mayor velocidad de transmisión, debido a que no es una tecnología de banda ancha, es un paso que a menudo se salta, ya que no agrega demasiadas ventajas a la red actual.

- *GPRS (General Packet Radio Service)*

Basado en conmutación de paquetes, permite velocidades de hasta 171.2 Kbps. Requiere una completa migración de las redes celulares actuales, con lo cual su costo de implementación puede ser importante. Además de una mayor velocidad de transmisión, debido a que es una red basada en paquetes, es adecuada para dar servicios de datos. Permite el cambio de tarificación por tiempo hacia la tarificación por consumo, entre otras ventajas.

Dado que tampoco se puede considerar de banda ancha, puede ser una solución provisional, pero muy usada por los operadores celulares actuales, para migrar de su red de circuitos tradicional a una red de paquetes.

- *EDGE (Enhanced Data-rates for Global Evolution)*

Es la migración de una red de paquetes que no es banda ancha (como GPRS), hacia una red de un ancho de banda mayor (el objetivo es 384 kbps).

Para lograr esto se debe realizar una importante migración de equipos, ya que para aumentar el ancho de banda se necesitan esquemas de modulación superiores a los que el GSM soporta actualmente. Por otra parte se van a necesitar una mayor relación Señal a Ruido para que estos esquemas de modulación funcionen satisfactoriamente. Por otra parte se espera una mayor cobertura de celdas (o sea mayor cantidad de celdas) con lo cual el operador debe realizar una inversión importante en cuanto a su red celular.

Aunque esta red es principalmente para ser aplicada a entornos urbanos, con velocidades bajas de movimiento de los terminales, se acerca bastante al objetivo de la IMT-2000, en cuanto a la capacidad de ancho de banda, quedando la red preparada para una fácil migración hacia la red UMTS.

2.2.4.2 *Migración a través del TDMA (IS-136)*

La migración del TDMA (IS-136) hacia el IMT-2000 pasa por el soporte del GPRS en una primera etapa, pero con una velocidad de 43.2 Kbps y luego por el EDGE, donde se unificaría con el GSM hacia el IMT-2000. Estos pasos fueron explicados en el punto anterior.

2.2.4.3 *Migración a través del CdmaOne (IS-95)*

La migración a través del CdmaOne de la 2G (también llamado IS-95-A) se realiza a través de 2 pasos incrementales en cuanto a capacidades de la red, aunque se mantendría una compatibilidad "hacia atrás" de la red.

En la figura 2.15 se ve esta migración hacia el Cdma2000 (IMT-2000)

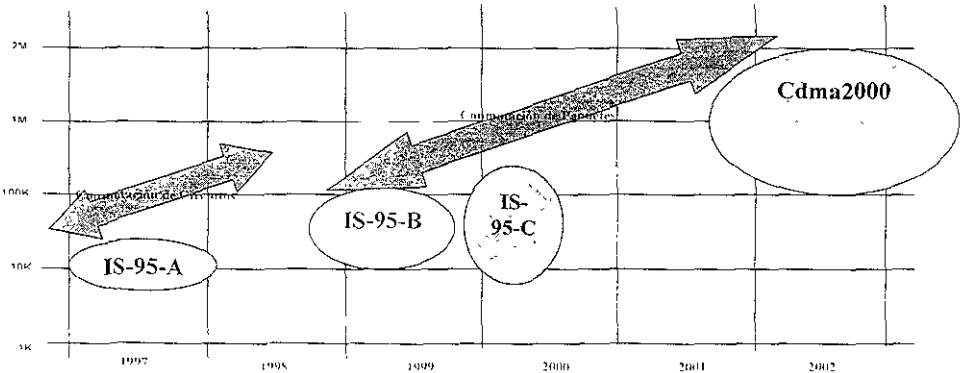


Figura 2.15 Migración hacia IMT-2000 desde GSM

Estos pasos son IS-95-B y IS-95-C y se describen a continuación

2.2.4.4 IS-95-B

La migración de la red IS-95-A a la IS-95-B se realiza con el agregado de hasta 8 canales de tráfico CDMA, cada uno ofreciendo 14.4 Kbps, los cuales son asignados a un móvil por el tiempo que dure su comunicación de alta velocidad.

Esta migración es sólo una migración de software solamente, sin ningún cambio en la capa física y la inversión no debería sobrepasar el 10% del valor de la red de 2G. Esta red es especialmente adecuada para transmisiones de Internet de mediana velocidad, particularmente en áreas de bajo tráfico (rurales/suburbanas).

Aunque no es una solución de banda ancha, permite dar servicios de datos en una primera etapa.

2.2.4.5 IS-95-C (Cdma2000 Fase1)

La IS-95-C, también conocida como FRR1, emplea 1.25 Mhz de ancho de banda y transmite hasta 144 Kbps de tráfico de datos para aplicaciones móviles y estacionarias.

Aunque requiere una migración tanto de software como de hardware, la IS-95-C permite dar áreas de alto tráfico (como las urbanas), aunque todavía está lejos de los objetivos del Cdma2000.

2.2.5 Comparación entre 2G y 3G

Para completar la idea, en la tabla 2.4 se observan las principales diferencias entre ambas tecnologías celulares

Red Actual	Futura Generación de redes
Banda angosta y basada en conmutación de circuitos	Banda ancha y basada en conmutación de paquetes
Centrada en servicios de voz	Servicios Multimedia
Conmutación centralizada	Control de llamadas distribuido y gestión de movilidad
Basada en Lugares	Basada en Personas
Servicios basados en Conmutación - IN	Servicios basados en la red a través de servidores.
Gestión de red jerárquica	Arquitectura "Peer to Peer"
Redes separadas fijas, inalámbrica, pagers	Convergencia hacia una sola red multiservicios

Tabla 2.5 Tendencias en la evolución de las Redes

2.2.6 WAP

Los más grandes fabricantes de redes y terminales celulares (Ericsson, Motorola, Nokia, entre otros) formaron el WAP Forum, en el cual se han asociado grandes operadores celulares.

WAP (Wireless Application Protocol) es el estándar de facto para proveer comunicaciones de Internet y servicios avanzados de telefonía sobre terminales inalámbricas, para lo cual también trabaja y/o sigue atentamente el trabajo de otros foros, entre ellos el I3T-2000.

El hecho de tener un único protocolo para aplicaciones multimedia en los terminales celulares, es beneficioso debido a que los operadores pueden usar cualquier terminal de cualquier fabricante que cumpla con estos protocolos, lo cual reduce los costos de los terminales y facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones.

CAPITULO III

PROPAGACIÓN Y CÁLCULOS DE ENLACE

3. Propagación y Cálculos de enlace

El cálculo de enlace es un cálculo de potencias. Es parte fundamental de los elementos de un diseño de un sistema de radio. El cálculo de enlace es la parte del diseño del sistema donde se incluyen todos los factores asociados con la propagación. El enlace puede ser de ida o regreso (Figura 3.1) y debe contabilizar todas las ganancias y pérdidas que las ondas de radio experimentarían entre el transmisor y el receptor, gracias a él podemos saber si puede o no existir una comunicación de este tipo entre ellos.

3.1 Cálculo de enlace

Un cálculo de enlace incluye muchos elementos de la ruta de comunicación (Figura 3.2), y a menos que existan mediciones empíricas anteriores de esa ruta, se tendrán que estimar o predecir.

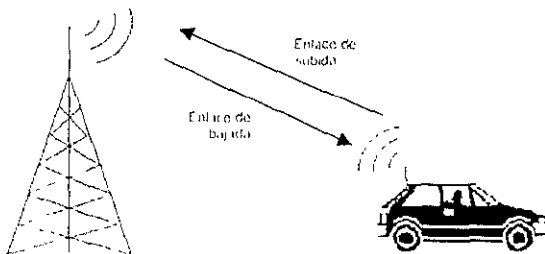


Figura 3.1 Enlaces de subida y bajada

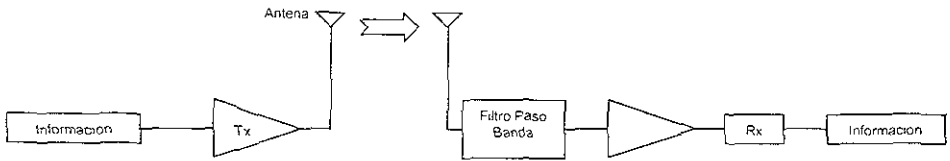


Figura 3.2 Componentes de un enlace

3.2 Modelos de Propagación

La longitud de onda para las señales de radio de los celulares y especialmente de los PCS es pequeña en tamaño

Recordamos que

$$c = \lambda f \quad (3.1)$$

donde,

c es la velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

f es la frecuencia en Hertz

λ es la longitud de onda

Despejando la longitud de onda tenemos que:

Para celulares ($f = 880$ MHz) por lo que la longitud de onda es de 0.34 m

Para PCS ($f = 1960$ MHz) la longitud de onda es de 0.153 m

Es por lo anterior que presentan unas características únicas de propagación, las cuales han sido modeladas por muchas personas a lo largo de los años

La mayoría de dichos modelos se derivan usando una combinación de métodos analíticos y empíricos. El procedimiento empírico se basa en encontrar curvas o expresiones analíticas que permitan contemplar una cierta cantidad de datos obtenidos por medición. De esta forma se pueden considerar todos los factores que influyen en la propagación incluyendo los desconocidos. El inconveniente que presentan dichos métodos es que no son necesariamente válidos para aplicarlos a situaciones y frecuencias diferentes de las utilizadas al obtener el método, es por ello que la mayoría de los métodos presentan ciertas restricciones para los casos en que puedan ser utilizados, por ejemplo algún rango de frecuencias dentro del cual es útil.

Los modelos de propagación más usados son: Hata, Carey, HgI, Longley-Rice, Bullington, Lee y Cost231. Todos ellos tienen ventajas y desventajas.

Muchos de los operadores celulares utilizan el modelo Hata. El modelo Carey es usado para suministrar información a la FCC.

Con la introducción de los PCS se ha incrementado la atención en refinar los modelos de propagación para ayudar en el diseño de redes. A pesar de ello no hay ningún modelo que tome en cuenta absolutamente todos los factores del ambiente. Como solución a esto, se ha optado por

utilizar combinaciones de los diferentes modelos dependiendo de las condiciones ambientales relevantes en cada situación

Actualmente la mayoría de los operadores celulares utilizan una variante del modelo Hata, por su parte los operadores de PCS y algunos operadores celulares usan el modelo Cost231

Además de la selección del modelo más adecuado a utilizar, se requieren considerar otras perturbaciones del modelo, una de las más importantes se refiere a la morfología. Esta característica se define normalmente en cuatro categorías:

- ✓ Densamente pobladas (Dense Urban). Se aplica en zonas de negocios dentro de un área metropolitana. Generalmente son zonas con edificios de entre 10 y 20 pisos.
- ✓ Urbanas (Urban). Este tipo de morfología consiste en zonas de edificios de entre 5 y 10 pisos de altura.
- ✓ Suburbanas (Suburban). Zonas o distritos con una mezcla de residencias y edificios de negocios con estructuras de no más de 5 pisos, predominando las de sólo 1 o 2 pisos.
- ✓ Rurales (Rural). Este tipo de morfología es generalmente utilizado en áreas abiertas con estructuras que no excedan de dos pisos y con cierta distancia entre ellas.

3.2.1 Espacio Libre

Las pérdidas en el espacio libre son el punto de referencia para todos los modelos de propagación empleados.

La ecuación que se usa para determinar las pérdidas en el espacio libre se basa en la relación $1/R^2$, o 20 dB/década de pérdida en la ruta

$$L_f = 32.4 + 20 \log_{10} R + 20 \log_{10} f_c \quad (3.2)$$

Donde:

- R es la distancia al móvil en Km
- f_c es la frecuencia en MHz
- L_f son las pérdidas en el espacio libre

3.2.2 Hata

Los modelos más usados en celulares se basan en el Hata o alguna variante de este, que fue desarrollado empíricamente del reporte técnico de Okumura. Dicho reporte consta de una serie de gráficas. A continuación se muestra la ecuación correspondiente

$$L_H = 69.55 + 26.16 * \log_{10} f_c - 1.387 * \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) * \log_{10} R \quad (3.3)$$

Donde:

- f_c Es la frecuencia en MHz. (entre 150 y 1500 MHz)
- h_b Altura de la estación base (entre 30 m y 200 m)
- h_m Altura del móvil (entre 1 m y 10 m)
- R Distancia al móvil en Km (entre 1 y 20 Km.)
- $a(h_m) = \begin{cases} 1.1 \log(f) - 0.7 & \{1.56 \log(f) - 0.8\} \text{ para áreas urbanas} \\ 3.2 \{ \log(11.75 h_m) \}^2 - 4.97 & \text{ para áreas urbanas densamente pobladas} \end{cases}$

Hay que recalcar que la formula sólo es válida dentro de los rangos establecidos en cada parámetro es por ello que no se puede aplicar para el rango de frecuencias que utiliza PCS.

3.2.3 Carey

Este modelo tiene muchas aplicaciones, pero la principal es el proceso de catalogación para la FCC inicialmente se hizo para las frecuencias entre 450 y 460 MHz, pero es eficiente dentro de 450 y 1000 MHz

$$L_1 = 110.7 - 19.1 * \log_{10} h_b + 55 * \log_{10} R \rightarrow \text{Para } .8 \leq R \leq 48 \text{ Km}$$

$$L_2 = 91.8 - 18 * \log_{10} h_b + 66 * \log_{10} R \alpha \text{ Para } 48 \leq R \leq 96 \text{ Km.} \quad (34)$$

Donde:

- h_m es la altura del móvil=1.8 m
- h_b es la altura de la estación base, entre 30 y 1500 m
- R es la distancia al móvil

3.2.4 Mc. Grejam & Griffiths

Este modelo empírico predice las pérdidas en la trayectoria con la siguiente formula

$$L = 120 - 20 \log (h_b h_m) + 40 \log d - 30 \log f - 1 \quad (35)$$

Donde

- h_b es la altura de la antena de la estación base
- h_m es la altura de la antena del móvil
- f es la frecuencia en MHz.
- d es la distancia entre el transmisor y el receptor (en kilómetros)
- $1 = 45 \pm 5$ para ciudades grandes con calles muy angostas y con muchos quebrtes
- 55 ± 5 para ciudades modernas con calles amplias y rectas
- 65 ± 5 para áreas suburbanas con algunas áreas rurales
- 75 ± 5 para áreas abiertas

3.2.5 Cost231 Walfisch/Ikegami

Este modelo se utiliza para estimar las pérdidas en un enlace celular dentro de un area urbana, es por ello que utiliza parametros como la altura de los edificios, se asume que las señales son guiadas a través de las calles. Es una combinación de un modelado empírico y uno determinístico, el rango de frecuencias que permite son entre 800 y 2000 MHz. Inicialmente se utilizó en Europa para GSM.

Es importante notar, que cuando la distancia al sitio es de menos de un km, el modelo Cost231 es una mejor elección que el modelo de Hata.

Consta de tres partes

- ✓ Pérdidas en el espacio libre. (L_f)
- ✓ Pérdidas por difracción y esparcimiento (L_{wfs})
- ✓ Pérdidas por multitrayectorias (L_m)

$$L_s = \left\{ \begin{array}{l} L_f + L_{wfs} + L_m \\ L_f \text{ Donde } L_{wfs} + L_m \leq 0 \end{array} \right\} \quad (3.6)$$

$$L_f = 32.4 + 20 \log_{10} R + 20 \log_{10} f_c \quad (3.7)$$

$$L_{wfs} = -16.9 - 10 \log_{10} W + 10 \log_{10} f_c + 20 \log_{10} \Delta h_m + L_s \quad (3.8)$$

$$L_m = L_{m0} + k_r + k_t \log_{10} R + k_f \log_{10} f - 9 \log h \quad (3.9)$$

$$k = \left\{ \begin{array}{ll} 4 + 0.7 * \left(\frac{f_c}{925} - 1 \right) & \text{Para ciudades medianas o áreas} \\ & \text{suburbanas con densidades medias} \\ 4 + 1.5 * \left(\frac{f_c}{925} - 1 \right) & \text{Para un centro metropolitano} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

$$k_r = \left\{ \begin{array}{ll} 18 & \rightarrow h_r > h \\ 18 - 1.5 \frac{h_r}{h} & \rightarrow h_r \leq h \end{array} \right. \quad (3.11)$$

Donde

R	Distancia al móvil (entre 0.02 y 5) en Km	
f_c	Frecuencia (entre 800 y 2000) en MHz	
w	Ancho de la calle en metros	
Δh_m	$h_e - h_m$	(3.12)
h_e	Altura del edificio	
h_m	Altura del móvil (entre 1 y 3) en metros	
ϕ	Ángulo incidente relativo a la calle	
b	Distancia entre edificios	
h_b	Altura de la torre (entre 1 y 50) en metros	

A continuación se presenta un esquema de los parámetros que involucra este método (figuras 3.3 y 3.4)

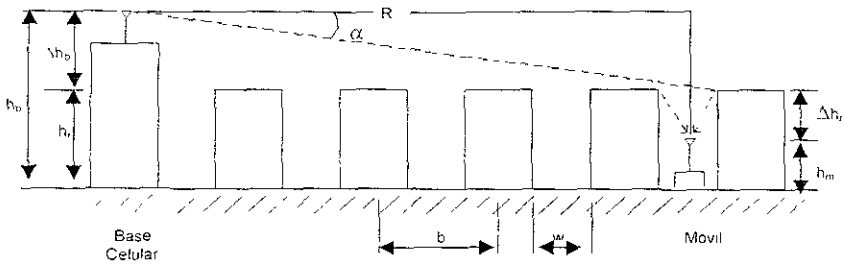


Figura 3.3 Esquema del método COST231 Walfisch/Ikegami

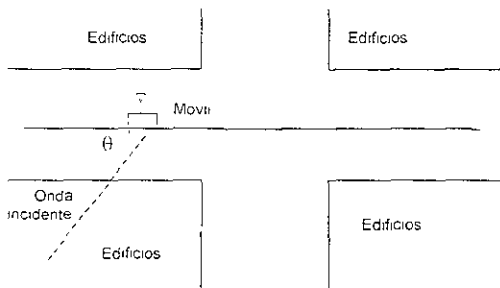


Figura 3.4 Diagramas de los parámetros del modelo COST231

3.2.6 COST-231 Hata

Para PCS fue necesario ajustar un modelo que fuera válido para estas frecuencias, siendo este el modelo COST-231 desarrollado por el comité de trabajo de la cooperativa europea para la investigación científica y técnica (EURO-COST) como una extensión hasta 2 GHz del modelo de Hata, con base en el cual se tiene que

$$L_{50}(m \text{ urbano}) = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_e - \alpha(h_e) + (44.9 - 6.55 \log h_e) \log d + C_{15} \quad (3.13)$$

Donde

- L_{50} Pérdida por propagación en un ambiente urbano
- f_c Frecuencia del enlace en MHz (entre 1500 y 2000).
- h_e Altura efectiva de la antena especificada en metros (entre 30 y 200)
- $\alpha(h_e)$ Factor de corrección de la altura efectiva del móvil (dado en decibelios)
- d Distancia en kilómetros entre la estación base y el móvil (entre 1 y 20)
- C_{15} Factor de corrección, en decibelios, dependiente de la morfología

Los factores de corrección que se aplican son los siguientes, con base en la morfología en la que se localice la estación base

$$C_{ur} = \begin{cases} 3 \text{ [dB]} & \text{en áreas urbanas densas} \\ 0 \text{ [dB]} & \text{en áreas urbanas y suburbanas} \end{cases}$$

$$a(h_n) = \begin{cases} (1.1 \log f_c - 0.7) h_n - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ [dB]} & \text{en áreas urbanas y suburbanas} \\ 8.29 (\log (1.54 h_n))^2 - 1.1 \text{ [dB]} & \text{en áreas urbanas densas para } f_c \leq 300 \text{ [MHz]} \\ 3.2 (\log (1.75 h_n))^2 - 4.97 \text{ [dB]} & \text{en áreas urbanas densas para } f_c \geq 300 \text{ [MHz]} \end{cases} \quad (3.14)$$

3.2.7 LEE

Aunque el modelo más adecuado para las frecuencias en la banda PCS es el modelo COST-231 Hata, el modelo que utiliza Cell-Plan (proveedor de uno de los sistemas de más uso) actualmente es el modelo de Lee, el cual se presenta a continuación

$$P_r = P_{r0} (t/r)^L (f/f_0)^{-\alpha} \quad \text{expresión lineal} \quad (3.15)$$

$$-10 \log P_r = -10 \log (P_{r0}) - 10 \log (t/r)^L - 10 \log (f/f_0)^{-\alpha} \quad \text{expresión logarítmica}$$

Donde

- P_{r0} Potencia a un kilómetro de la antena que radia con una frecuencia f_0 .
- L Pendiente de las pérdidas en la trayectoria
- r Distancia a la cual se desea estimar la potencia (en kilómetros)
- t_0 Igual a un kilómetro
- f Frecuencia de transmisión
- α Factor de ajuste

De acuerdo a la definición de pérdidas se tiene que $L = P_{r0} / P_r$, de donde se obtiene la siguiente expresión

$$L = -10 \log (t/r)^L - 10 \log (f/f_0)^{-\alpha} \quad \log \alpha$$

O de manera equivalente

$$L = (t/r)^{-L} (f/f_0)^{\alpha} \alpha \quad (3.16)$$

Haciendo referencia al modelo COST-231

$$L_{ur}(urbano) = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_n - a(h_n) + (44.9 - 6.55 \log h_n) \log d \cdot C_{ur}$$

Se puede observar que el modelo de Lee toma en cuenta muy pocos factores, además de que necesita que se realicen las mediciones necesarias para la frecuencia en cuestión.

3.2.8 SAKAGAMI-KUBOI

Es un modelo empírico que requiere información mas detallada acerca del ambiente en comparación con la mayoría de modelos, la ecuación es

$$L = 100 - 7.1 \log w + 0.023 \varnothing + 1.4 \log h_r + 6.1 \log H_1 - [24.37 - 3.1(H_r/h_{ms})^2] \log h_b + (43.2 - 3.1 \log h_r) \log d + 20 \log f + \exp[13(\log f - 3.23)] \quad (3.17)$$

donde

- w Ancho de la calle en metros donde el receptor se encuentra localizado (5 m < w < 50 m)
- \varnothing Ángulo formado por los ejes de la calle y la dirección de la onda incidente (0° < \varnothing < 90°)
- h_r Altura en metros de las construcciones próximas al punto de recepción (5 m < h_r < 80 m)
- h_b Altura en metros de la antena de transmisión con respecto al observador (5 m < H_1 < 50 m)
- h_{ms} Altura en metros de la antena de recepción con respecto al nivel del piso (20 m < h_b < 100 m)
- H Altura promedio en metros de las construcciones próximas a la estación base ($h_{ms} \geq H$)
- d Separación entre el transmisor y el receptor en kilómetros (0.5 km < d < 10 km)
- f Frecuencia en MHz (450 MHz < f < 2200 MHz)

3.2.9 IKEGAMI

Este modelo semideterminístico es recomendable para ambientes urbanos homogéneos. Esta fórmula se deriva asumiendo que no existe línea de vista, además solo se consideran dos rayos, que son un rayo reflejado, y un rayo difractado (Figura 3.5)

Con las consideraciones anteriormente mencionadas, las pérdidas en la trayectoria están dadas por:

$$L = 26.65 + 30 \log f + 20 \log d - 10 \log (1 + 3/d^3) - 10 \log w + 20 \log (h_B - h_r) + \log(\sin \alpha) \quad (3.18)$$

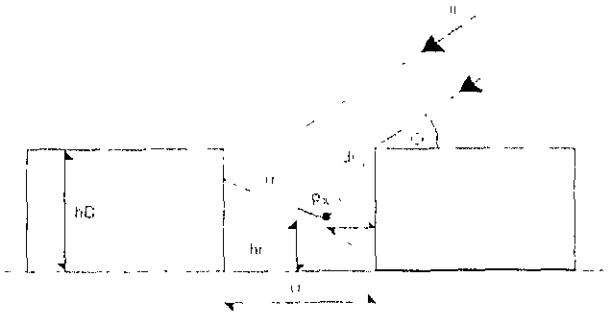


Figura 3.5. Diagrama de los parámetros del modelo IKEGAMI

Donde

- f Frecuencia en MHz.
- d Separación entre las antenas de transmisión y recepción
- w Ancho de la calle donde se encuentra el receptor
- h_B Altura de las construcciones.
- h_t Altura de la antena de recepción
- θ Ángulo entre el eje de las calles y la dirección del rayo incidente (ir)
- I_r Parámetro que depende del coeficiente de reflexión de la superficie del edificio
Un valor típico para I_r en la banda de UHF es de 3.2

Es necesario realizar mediciones para poder evaluar el valor de I_r , además de que es necesario el tener una zona con características uniformes en las construcciones

3.2.10 Quick

Este método puede utilizarse cuando se requiera una rápida aproximación, las relaciones a utilizar son las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Para } 800 \text{ MHz} \quad PL &= 121 + 36 \text{Log}(\text{Km}) && (3.19) \\ \text{Para } 1900 \text{ MHz} \quad PL &= 130 + 40 \text{Log}(\text{Km}) && (3.20) \end{aligned}$$

El método Quick es usado en casos en las que se requiera una aproximación. Como en el caso en que la capacidad de algún conjunto de células (grid) es rebasada, y es necesario hacer una superposición de otra malla (grid) de células de menor tamaño pero de igual capacidad

3.2.11 Resumen de los modelos de propagación

Es importante recalcar que la correcta elección del método de propagación a emplear resulta muy importante y se ve reflejado tanto en el desempeño de la red como en el costo de la implantación del sistema.

En México los métodos más usados son Hata en los casos de frecuencias de 800 [MHz], Cost-231 Hata y E.F.F. se utilizan en los rangos de frecuencias de los 1900 [MHz].

A continuación se muestra una tabla con el resumen de las principales características de cada método.

Modelo de propagación	Características
Hata	Tiene limitantes en frecuencia sólo opera entre 150 a 1500 MHz No se aplica para PCS Usado tanto para áreas urbanas y urbanas densas Para cobertura máxima de 20 Km
Cost-231 Hata y E.F.F.	Proceso de catalogación o de información para la FCC Eficiente en la banda de 450 a 1000 MHz Cobertura máxima de 18 Km y 96 Km

Modelo de propagación	Características
Mc. Grejam & Griffiths	Modelo empírico con gran rango de frecuencias Usado tanto en áreas urbanas densas, urbanas, rurales y áreas abiertas.
Cost-231 Walfisch/Ikegami	Modelo empírico y determinístico Usado para áreas urbanas Rango de frecuencias entre 800 y 2000 MHz
Cost-231 Hata	Usado en PCS Frecuencias entre los 1500 y 2000 MHz Morfologías urbanas densas, urbanas y suburbanas
LEE	Usado para PCS Menor desempeño que Cost 231 Hata, ya que utiliza menos parámetros
SAKAGAMI-KUBOI	Modelo empírico Requiere información mas detallada del ambiente Frecuencias entre los 450 y 2200 MHz Distancia máxima de 10 Km Zonas urbanas
IKEGAMI	Modelo semideterminístico Ambientes urbanos homogéneos Asume que no hay línea de vista
Quick	Método usado para aproximaciones Frecuencias 800 MHz y 1900 MHz

Tabla 3.1 Características de los diferente modelos de propagación

3.3 Atenuación ambiental

α es una de otras variables asociada con las características de propagación que tienen un gran impacto en como el modelo verdaderamente predice las características de la propagación del potencial sitio celular

Los puntos ambientales asociados con características de propagación requieren mucha atención. Abajo se presenta un listado de algunas características generalizadas de atenuación que se usa en modelos de propagación. Observando en la tabla 3.2, la diferencia entre los ambientes urbano y suburbano es de mas de 3 dB

Efectos ambientales en pérdidas de trayectoria, dB.	
<i>Follaje</i>	
Escaso	6
Ligero	10
Medio	15
Denso	20
Muy denso	25

Efectos ambientales en pérdidas de trayectoria, dB.	
<i>Construcciones</i>	
Agua/abierta	0
Rural	5
Suburbana	8
Urbana	22
Densamente urbana	27
<i>Vehículos</i>	<i>10-14</i>

Tabla 3.2 Pérdidas por el ambiente

3.4 Difracción

La difracción de una señal RF también tiene un papel muy importante en la predicción y atenuación de la señal. Muchos tipos de métodos de difracción están modelados en RF. Cada método de difracción genera un valor diferente. Si se escogen bien los puntos de terreno, el método de cálculo presentado predecirá acertadamente la atenuación experimentada. Para determinar la pérdida de la señal en la trayectoria que será experimentada como resultado de un obstáculo único en la trayectoria, se puede emplear la ecuación 3.22.

$$V = h \times (2(d_1 + d_2)/(\lambda \cdot d_1 \cdot d_2))^{1/2} \tag{3.21}$$

$$GD \text{ (dB)} = 20 \log_{10} (FV) \tag{3.22}$$

- | | |
|---|--------------------|
| $Crd = 0$ | para $V = -1$ |
| $20 \log_{10} (0.5 - 0.62V)$ | para $-1 < V < 0$ |
| $20 \log_{10} (0.5 + 0.95V)$ | para $0 < V < 1$ |
| $20 \log_{10} (0.1) + ((0.1184 - 0.38 - 0.1V) \cdot 2)^{1/2}$ | para $1 < V < 2.1$ |
| $20 \log_{10} (0.225 \cdot V)$ | para $V > 2.1$ |

En la figura 3.6 se muestra que hay una relación directa entre la distancia desde la obstrucción y la altura del transmisor y receptor conjuntamente con la frecuencia de operación.

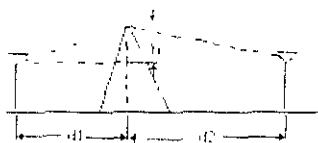


Figura 3.6. Relación entre la distancia de obstáculo, la altura del receptor y el transmisor, $d_1 = d_2$.

A continuación se muestran ejemplos del cálculo de la pérdida por difracción para las bandas celular y PCS.

Para 880 MHz

Considerando $d_1 = 1 \text{ Km}$, $d_2 = 1.5 \text{ Km}$, $h = 200 \text{ m}$, $\lambda_{880} = 0.34 \text{ m}$

$$V_{880} = 200 * (2(2500)/(0.34)(1.5 * 10^6))^{1/2} = 19.8$$

$$G_d (\text{dB}) = 20 \log_{10} (0.225/19.8) = -38 \text{ dB}$$

Es decir una pérdida por difracción de 38 dB

Para 1900 MHz

$$V_{1900} = 200 * (2(2500)/(0.157)(1.5 * 10^6))^{1/2} = 29.14$$

$$G_d (\text{dB}) = 20 \log_{10} (0.225/29.14) = -42.2 \text{ dB}$$

Es decir una pérdida por difracción de 42.2 dB

3.5 Rutas múltiples y retraso por dispersión

La calidad de comunicación entre un móvil y el sitio celular depende de una variedad de factores que afectan la trayectoria por la cual viaja la señal de radio

Muchos tipos de deterioros de la señal ocurren en la trayectoria de señal de radio. Los cuatro deterioros básicos experimentados por una señal en una trayectoria de comunicación involucran las pérdidas en la trayectoria, desvanecimiento, trayectorias múltiples, y el efecto Doppler.

La pérdida en la trayectoria es un resultado directo de la distancia entre el transmisor y receptor en la trayectoria de comunicación. El shadowing, también llamado lento desvanecimiento, es provocado en su mayor parte por bloqueos parciales o absorción ambiental tales como las producidas por los árboles.

En cualquier sistema de comunicaciones de trayectoria múltiple, la propagación presenta uno de los más desafiantes problemas para diseñar un sistema móvil de comunicación. La trayectoria múltiple de propagación es la forma predominante de trayectoria de transmisión en un ambiente urbano donde más de un reflejo en la trayectoria de transmisión es lo común (como se puede ver en la figura 3.7)

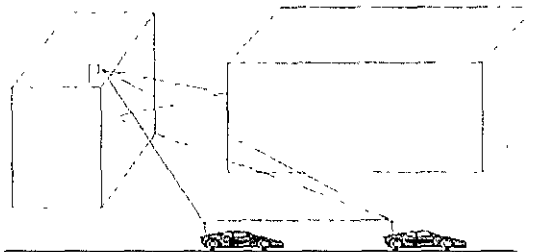


Figura 3.7 Señales multitrayectoria en un ambiente urbano

En un sistema de comunicación analógico multitrayectoria, la misma información que toma trayectoria múltiple ocasiona desvanecimiento. La multitrayectoria es un resultado del desvanecimiento de Rayleigh o rápido, cuando la antena receptora recibe frentes de onda constructivos y destructivos. La susceptibilidad de receptores para el desvanecimiento es una función de la frecuencia de operación y del ancho de banda del receptor.

El retraso por dispersión (dispersión en el tiempo), es para el sistema digital de radio lo que la multitrayectoria es para el analógico. En un sistema digital la demora en la llegada de la señal es más importante que el nivel de señal recibido. La dispersión ocurre cuando las señales múltiples llegan a diferentes tiempos al receptor y la diferencia en el tiempo entre las llegadas de las señales es del orden de un periodo de bit. Las señales múltiples que llegan al receptor dentro de periodo de bit causa distorsión en la representación del bit deseado o incluso el bit erróneo es decodificado dado que la señal reflejada demorada es más fuerte que en sí la directa misma. Cuando la dispersión en la demora en el tiempo no es más insignificante con respecto al ancho de banda de modulación la información recibida se deformará porque las diferentes trayectorias se transfieren con las ondas multitrayectorias entrantes. El retraso de diseminación es más pronunciado con una tasa más alta de datos. El efecto puede ocasionar que los símbolos se superpongan, produciendo interferencia intersímbolo. La figura 3.8 es un ejemplo de interferencia intersímbolo (ISI). Allí se muestran a dos señales multitrayectoria que se reciben pero hay suficiente demora entre los símbolos recibidos para ocasionar la ambigüedad de señal, resultando en ISI.

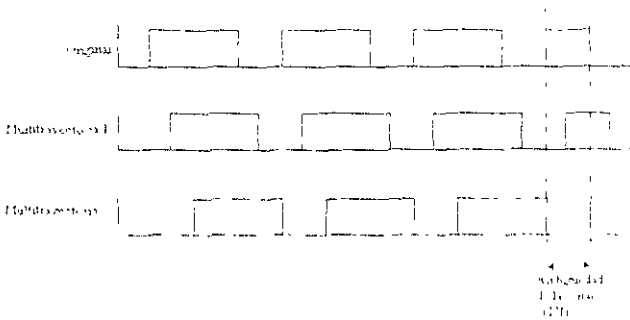


Figura 3.8 Interferencia intersímbolo (ISI)

El problema de dispersión para un sistema digital de comunicación podría ser tan severo para un sitio de célula que usted podría tener línea de vista (LOS) de comunicación y aun así, que no se demodule la señal adecuadamente. Para resolver el problema de la dispersión existen algunas soluciones como se verá a continuación.

Para sistemas TDMA se utilizan ecualizadores adaptivos en la etapa de demodulación del receptor. El ecualizador provee un método para detectar señales retrasadas al enfocarse en la señal recibida más fuerte. El ecualizador opera utilizando una secuencia de entrenamiento que se envía al comienzo del envío de datos, y entonces el ecualizador se ajusta así mismo a proveer la máxima respuesta sobre el canal, anulando los efectos del canal de radio. El uso de un ecualizador es una parte integral de una comunicación celular TDMA.

Para un sistema CDMA, sin embargo, no se utiliza un ecualizador adaptivo para tratar de mitigar los efectos de la dispersión. En lugar de eso el sistema CDMA utiliza un receptor de recuperación o "rake" el cual tiene la habilidad de discriminar o escoger la señal deseada de la otra.

Otro método que puede ser utilizado para minimizar los problemas de dispersión es el reducir la potencia efectiva radiada del sitio. Sin embargo, el reducir el ERP de un sitio celular también tiene un impacto negativo en el nivel de cobertura. Otro método para reducir los problemas de dispersión es el alterar la orientación de la antena del sitio celular, y con ello por tanto el cambio de la trayectoria de dispersión que afecta negativamente la comunicación de radio.

Cuando hay cualquier movimiento entre el transmisor y receptor, un corrimiento de frecuencia ocurre entre las frecuencias transmitidas y recibidas. El cambio relativo es el llamado efecto Doppler, el cual puede ser lo suficientemente serio para producir una modulación aleatoria de frecuencia sobre la misma señal original. El efecto Doppler también puede tener un impacto negativo o positivo en la propagación de multitraectorias.

3.6 Perdidas por Cables

Un punto importante que se debe tomar en cuenta en el diseño de sistemas de RF es la selección apropiada de cables que serán utilizados para conectar los radios a la antena.

Las tablas 3.3 y 3.4 muestran las diferencias en las pérdidas de cables como función de la distancia, tamaño del cable, y frecuencias de operación.

LDF 50 Ω diámetro del cable				
MHz	½ in. dB	7/8 in. dB	1 ¼ in. dB	1 5/8 in. dB
150	0.845	0.458	0.34	0.280
450	1.51	0.834	0.617	0.515
824	2.10	1.17	0.866	0.731
894	2.20	1.23	0.907	0.767
1700	3.15	1.79	1.32	1.13
2000	3.45	1.97	1.45	1.25

Tabla 3.3 Atenuación por 100 pies de cable

Diámetro del cable, dB (Para 20 pies de longitud)			
MHz	7/8 in.	1 ¼ in.	1 5/8 in.
150	71	73	77
450	75	74	82
900	80	81	85
1700	81	81	86

Tabla 3.4 Pérdidas por acoplamiento.

3.7 Radio de células y ERP (Effective Radiated Power)

La potencia radiada efectiva, ERP de un transmisor o sitio celular junto con la altura de la antena, determinará el radio de transmisión. Las características del ERP deberían equilibrarse con la trayectoria recibidas para asegurar que no hay una disparidad entre las trayectorias de llamadas de entrada y llamadas de salida para un sitio celular.

El ERP para el sitio es determinado con referencia a una antena dipolo, si se tienen datos con referencia a una antena isotrópica podemos usar la siguiente relación $2.14 \text{ dBs (dBd} = 2.14 \text{ dB} + \text{dBi})$

El cálculo del ERP es simplemente el resultado de sumar la potencia del transmisor más la ganancia de la antena menos las pérdidas en la línea y otras que se puedan presentar antes de radiar la señal.

El efecto que tiene el ERP en el radio de la célula (consideraremos que es de 1 Km) se podrá ver mejor con el siguiente ejemplo.

Incrementando 3 dB al ERP

$$+ 3 \text{ dB} = 35 \log(R_{\text{nuevo}}) \quad (3.23)$$

$$R_{\text{nuevo}} = 1.218 \quad R_{\text{original}} = 1.0$$

$$\frac{\text{Área (nuevo)}}{\text{Área (viejo)}} = \frac{\pi(R_{\text{nuevo}})^2}{\pi(R_{\text{original}})^2} = 1.484 \quad (3.24)$$

Área nueva 1 (original + 3 dB) = 1.484 veces el área original

Decrementando 3 dB al ERP

$$- 3 \text{ dB} = 35 \log(R_{\text{nuevo}})$$

$$R_{\text{nuevo}} = 0.820 \quad R_{\text{original}} = 1.0$$

$$\frac{\text{Área (nuevo)}}{\text{Área (viejo)}} = \frac{\pi(R_{\text{nuevo}})^2}{\pi(R_{\text{original}})^2} = 0.674$$

Área nueva 2 (original - 3 dB) = 0.674 veces el área original.

Por lo tanto

Área original	3.14 Km ²
Área 1 (original + 3dB)	4.66 Km ²
Área 2 (original - 3dB)	2.16 Km ²

Ahora considerando que aproximadamente

$$\text{Número de sitios celulares} = \frac{\text{área geografica}}{\text{área del sitio celular}} \quad (3.25)$$

Número de sitios celulares necesitados originalmente	16
Número de sitios celulares necesitados aumentando 3dB al ERP	11
Número de sitios celulares necesitados restando 3 dB al ERP	23

Con ello podemos ver claramente lo determinante que es hacer un correcto cálculo de ERP

3.8 Elementos del Cálculo de Enlace.

Las máximas pérdidas que se puedan tener en la trayectoria, o el límite de la trayectoria para cualquier sistema de comunicaciones determina el rango de la efectividad del sistema. Un procedimiento sencillo de un cálculo de enlace para la determinación de dicho límite se muestra en la siguiente tabla donde el valor para la sensibilidad del receptor incluye el ruido debido a la temperatura, al ancho de banda y a la figura de ruido.

El enlace de subida, definido como del móvil a base, es el caso del límite de la trayectoria. En la tabla 3.5 se observa que la trayectoria talk-back es 6 dB menor que la trayectoria talk-out.

	Enlace de bajada	Enlace de subida
Transmisor	50 dBm	36 dBm
Ganancia de Antena	3 dBm	12 dBd
Pérdida de cable	2 dBm	3 dB
Sensibilidad del receptor	-116 dBm	-116 dB
Relación C/N	17 dBm	17 dB
Máxima pérdida permitida en la trayectoria	150 dB	144 dB

Tabla 3.5 Cálculo de Enlace

Una vez que se tiene este dato, lo utilizaremos para determinar el rango para el sitio usando el modelo de propagación para la red.

Al desarrollar el cálculo de enlace se recomienda que los siguientes elementos sean incluidos en el cálculo. Los siguientes ejemplos incluyen más elementos que pueden ser utilizados en el proceso de la instalación física del sistema. De cualquier modo, los elementos que pueden causar impacto en el cálculo de enlace, se incluyen para referencia. En este también es muy probable que se puedan agregar otros elementos en la trayectoria, que mejoren o degraden potencialmente el desempeño de la red.

Cálculo de Enlace-Link Superior

Rango de Frecuencia, MHz

Parámetros del móvil

Salida Tx PA (max)

Pérdida de Cable

Ganancia de antena

(Máximo FRP del suscriptor)

Margenes de ambiente

Margen de desvanecimiento

Atenuación ambiental

Sobreposición de celdas

Parámetros de la estación base

Ganancia de la antena Rx

Pérdida del jumper Rx

Ganancia del amplificador superior
de la torre Rx

Pérdida del cable Rx

Pérdida por suspensión de luz Rx

Cálculo de Enlace-Link Superior

Ganancias por diversidad Rx _____
 Ganancia de codificación Rx _____
 Sensibilidad Rx _____

Calculo del enlace de subida, dB

Tabla 3.6 Cálculo de enlace de subida

La tabla 3.6 es un ejemplo de una hoja de información para un cálculo de enlace, que tiene mas detalles. Es importante obtener una hoja con los elementos del cálculo de enlace, en el desarrollo de cualquier diseño.

La información obtenida en la tabla 3.6 se usa entonces para el llenar la forma que se presenta a continuación (tabla 3.7) Aquí se presenta sólo la trayectoria de un enlace de subida. Si la trayectoria limite fuese la trayectoria de un enlace de bajada se puede ajustar a la forma apropiada

Tipo de Celda L				
Proveedor				
No. De Modelo				
PA Tx max				
Sensibilidad Rx				
Figura de ruido Rx				
Modulación				
Suscriptor				
	Tipo		Tipo	Tipo
Max Tx				
Min Tx				
Sensibilidad Rx				
Antena				
	Tipo	Vertical (3 dB)	Horizontal (3 dB)	Ganancia
Sistema		Area 1	Area 2	Area 3
Celda TRP				
Max				
Min				
Altura de Celda				
Max				
Min				
Nominal				
Perdida de Cable				
Max				
Nominal				
Configuración de Celda				
Omni sector (3, 4, 6)				

Tabla 3.7 Cálculo de enlace para ruta de enlace superior

3.9 Informe del Cálculo de Enlace

El formato descrito abajo es lo que se recomienda considerar al hacer un informe del cálculo de enlace. Es solo un ejemplo y por lo tanto puede y debe ser reflejado, según los objetivos de la compañía. Las partes que se considerarán son:

- 1 Carátula
- 2 Introducción.
- 3 Revisión.
- 4 Índice
- 5 Apreciación Global del Sistema
6. Objetivos de Cobertura.
- 7 Calidad de Cobertura
- 8 Cobertura entre sistemas
- 9 Tecnología e Infraestructura (ERP, Sensibilidad Rx, antenas, altura, equipo auxiliar)
- 10 Modelo de Propagación (modelo, terreno, entropía al aire libre, interior, margen de desvanecimiento)
- 11 Cálculos

3.9.1 Carátula

La hoja de cubierta para el informe debe incluir como mínimo los siguientes datos:

- ✓ El nombre del sistema
- ✓ Fecha de emisión
- ✓ Número de Revisión
- ✓ Quien o que grupo emite el informe
- ✓ Declaración de confidencialidad (esta debe estar en cada página del documento)

3.9.2 Introducción

Es una descripción de lo que se piensa resolver y los objetivos del cálculo de enlace. Debe incluir el mercado a cubrir, tipo general de equipo y para quien está destinado este documento. Incluya también el tiempo que se piensa durara este informe. Específicamente, si este es un sistema nuevo, el tiempo de duración para la validez de este informe podría ser 1 año. De cualquier modo, si éste es un sistema existente que está prácticamente terminado, el tiempo sería también 1 año pero debe estar 2 años como un mínimo.

3.9.3 Revisión

Este documento indica, qué versión del informe se tiene. Se debe asegurar que la versión que está bajo escrutinio, es la actual y ha sido sometida a revisión de diseño. El formato se muestra enseguida:

Fecha	Autor	Revisado por	Comentarios	Revisión No.

3.9.4 Índice

Esta sección incluye los apartados del documento para ser usados como una rápida referencia para que alguien pueda rápidamente encontrar lo que busca sin tener que leer el documento completo. El formato podría ser el siguiente

	Page
Introducción	
Revisión	
Objetivos de cobertura	

3.9.5 Apreciación global del sistema

Esta sección describe qué áreas incorpora el sistema. Un mapa que muestre los límites físicos será necesario en esta sección. Se debe incluir en él los elementos importantes que se necesitarán frecuentemente, y que cambiarán a futuro

3.9.6 Objetivos de cobertura

Esta sección describe los objetivos de cobertura del sistema. Los siguientes son puntos sugeridos a cubrir

- ✓ ¿Cual es la cobertura actual del sistema?
- ✓ ¿Cuáles son los requerimientos de cobertura?
- ✓ ¿Que áreas requieren cobertura?

Esta información debe derivarse de las áreas de marketing, operaciones, RI e ingeniería de ejecución del sistema. Esta sección debe incluir un mapa del área geográfica que rodea al sistema. Debe incluir una indicación de qué tipo de objetivo de cobertura se desea y su diferenciación aproximada en un mapa. El mapa podría estar dentro o en el sistema existente, o en un área que se considere dentro del edificio del sistema.

Si se asocian fases múltiples con el programa de construcción, también debe ser reflejado con la sección de cobertura. En el evento de fases múltiples, un mapa puede incluir también un diseño que distinga las diferentes fases.

Si el sistema existe actualmente, un mapa de cobertura se debe incluir también en esta sección. El mapa de cobertura debe tener una escala conveniente que incluya los problemas de cobertura del sistema actual.

3.9.7 Calidad de cobertura

Esta sección describe los requerimientos de calidad de cobertura del sistema. La calidad de cobertura es una serie de parámetros que se usaran para ayudar a definir mejor los requerimientos del cálculo de enlace del sistema y las áreas geográficas dentro de la red.

La calidad de cobertura (CQ) es la que define los diferentes requerimientos morfológicos que se usarán para determinar el área que se necesitará para satisfacer los requerimientos de cobertura. Se observa que el 100 % no es un criterio de diseño. Se puede diferenciar el CQ también incluyendo no sólo los requerimientos de la celda, sino también los requisitos de cobertura de la celda dependiendo de la referencia morfológica (tabla 3.8).

	En edificio	En carro	En Calle
Urbano Denso	90	95	99
Urbano	85	90	99
Suburbano	75	85	95
Rural	50	80	90

Tabla 3.8 Calidad de Cobertura en el Contorno de Celda, %

3.9.8 Cobertura entre sistemas

Aquí se incluyen los requerimientos de cobertura necesarios para proveer cobertura contigua en otro mercado. Específicamente debe ser aplicable para un área del sistema que tenga interfaces con otro BTA, MTA, CGSA, o RSA donde se desee la capacidad de manejar roaming.

Un mapa que indique las áreas geográficas deseadas, sería directamente aplicable aquí. Cualquier comentario con respecto a la figura de otros sistemas programados debe listar los objetivos de cobertura.

3.9.9 Tecnología e infraestructura

Esta sección del informe del cálculo de enlace define que líneas de tecnología e infraestructura serán seguidas para el diseño de RF. Específicamente define el tipo de equipo de radio que se utilizará, las sensibilidades de varios receptores, los tipos de antenas, y otros equipos que estarán disponibles para el ingeniero de RF en la fase de diseño.

Algunos elementos adicionales que pueden pertenecer a esta sección son la inclusión de un amplificador superior en una torre, antenas inteligentes, o cualquier otra especie de perfeccionamientos de ejecución potencial para mejorar el enlace.

3.9.10 Modelo de propagación

Aquí se debe incluir el modelo o modelos de propagación utilizados por el cálculo de enlace, también una lista de varios márgenes que se incluyen en el modelo de propagación utilizado para el análisis.

El modelo de propagación seleccionado debe incluir también la frecuencia de operación y cualquier modelo generalizado de suposiciones utilizadas. Por ejemplo si se escoge Cost231 para el modelo de propagación, se debe especificar la frecuencia que debe ser escogida de acuerdo con los parámetros estándares. Además de la tasa de pérdida de datos incluida aquí, debe incluirse la relación C/I o E_b/N₀ de los requerimientos definidos para la operación. Los factores de pérdida incluidos en la protección del margen en la pérdida de edificio y en los factores de entropía, necesitan estar referenciados claramente desde su inclusión o exclusión.

3.9.11 Cálculo

Esta sección es donde los valores definidos en todas las partes del informe, deben correlacionarse y ponerse en una serie de tablas. El formato presentando anteriormente puede ser utilizado para conformar una hoja de cálculo de enlace separada, puede acompañar las diferentes clasificaciones de los requerimientos de cobertura y tipos del equipo.

Cuando se lleva el plan a un sitio de celda individual, se debe crear por cada sitio una hoja de cálculo de enlace separada.

3.10 Ejemplo de un cálculo de enlace

Para la realización de los ejemplos de cálculo de enlace, tomamos algunos datos de la información investigada relacionada con las empresas que prestan estos servicios en México y de algunos proveedores de tecnología.

Los siguientes ejemplos están relacionados para una red celular que utiliza tecnología TDMA en una zona urbana. La radio base utiliza antenas y líneas de transmisión *andrew*. También como dato importante se planea hacer el cálculo en los rangos de frecuencia de los 800 y 1900 MHz.

El siguiente paso es determinar los siguientes parámetros

- Modelo de propagación que se va a utilizar
- Tipo de morfología de la zona
- Frecuencia de operación.
- Link budget
- Parámetros de equipos y normas

Modelo de propagación

Dentro de las investigaciones que realizamos en este trabajo, descubrimos que las empresas que utilizan la tecnología TDMA en México, para realizar este tipo de cálculos se basan en el modelo Cost 123 Hata para el rango de frecuencias de los 800 MHz y una variante de este mismo modelo para el rango de frecuencias de los 1900 MHz. Por esto mismo en este ejemplo seleccionamos el modelo de propagación Cost 123 Hata.

También cabe mencionar que influye el tipo de morfología dentro de la selección del modelo a utilizarse.

Utilizaremos las ecuaciones 3.13 y 3.14 que se mencionaron en temas anteriores.

Morfología

Para este caso consideraremos que se trata de una morfología urbana, el cual podría ser un caso en una población en donde no se cuente con una red celular.

Ya teniendo definida la morfología de determinan el parámetro $C_M = C_M - 3$ dB.

Banda de frecuencia

Banda de los 800 MHz y de los 1900 MHz.

Cálculo de enlace

Como se mencionó en este capítulo, el cálculo de enlace (link budget) ayuda a definir algunos de los parámetros de diseño y operación requeridos para proveer un cierto nivel de satisfacción del cliente.

El Cálculo de enlace es la igualación de las pérdidas y ganancias que se obtienen en la ruta de subida con las obtenidas en la ruta de bajada, con la finalidad de que no haya discrepancias con la calidad de la voz en ambos sentidos.

Parámetros

Los parámetros requeridos son los siguientes:

- Frecuencia del enlace f_c [MHz]
- Altura efectiva de la antena del móvil h_{re} [m]
- Factor de correlación de h_{re} $a(h_{re})$ [dB]
- Altura efectiva de la antena de la RBS h_{te} [m]
- Factor de corrección por la morfología CM [dB]
- Pot P_x [dBm]
- Pérdida por jumper [dB]
- No Jumpers
- Pérdida total por jumper [dB]
- Pérdida por L.U. [dB/100m]
- Longitud de la L.U. [dB]
- Ganancia de Ant. T_x [dBd]
- Ganancia de Ant. R_x [dBd]
- NS Mínimo (Sensitividad) [dBm]
- Pérdida máxima por propagación [dB]

Es importante mencionar que muchos de estos valores se obtienen de los proveedores de los equipos, o de las normas que emplean los prestadores de servicios.

Ejemplo 1.

Se desea hacer el cálculo de enlace, utilizando una frecuencia que se encuentra en la banda de los 1900 MHz, utilizando una antena Andrew. Estimando una altura de la torre igual a 32 metros, y la longitud de la línea de transmisión igual a 43 metros.

La potencia máxima del móvil es por norma 06 W (23 dBm). Este valor se toma ya que se calcula para el extremo de la célula.

La sensibilidad del móvil por norma es de -103

Los parámetros que son variables para un equilibrio y para realizar el cálculo de enlace son la potencia de transmisión de la radio base y el nivel de sensibilidad de la radio base. La sensibilidad puede tomar los valores de -104 y -114 , estos dependen si se trata de si es una zona urbana o densamente poblada (dense urban)

Haciendo el calculo de enlace

Frecuencia de enlace	f_c [MHz]	1947
Altura efectiva de la antena del móvil	h_{m} [m]	1.5
Factor de correlación de hre	$a(h_{re})$ [dB]	0.04604
Altura efectiva de la antena de la RBS	h_{te} [m]	32
Factor de corrección por la morfología	CM [dB]	0

	Uplink	Downlink
Pot P_x [dBm]	23	28
Pérdida por jumper [dB]	0.5	0.5
No Jumpers	2	2
Pérdida total por jumper [dB]	1	1
Pérdida por L.t [dB/100m]	4.46	4.46
Longitud de la L.t [dB]	43	43
Pérdida total por L.t [dB]	191.78	191.78
Ganancia de Ant. T_x [dBd]	16	0
Ganancia de Ant. R_x [dBd]	0	16
NS Mínimo (Sensitividad) [dBm]	-103	-114
Pérdida máxima por propagación [dB]	<u>136.9822</u>	<u>136.9822</u>

Distancia máxima del móvil a la RBS [Kkm] 1.0013

Ejemplo 2

Para este ejemplo se toma la misma configuración solo que la frecuencia de operación está dentro de la banda de los 800 MHz

Haciendo el calculo de enlace

Frecuencia de enlace	f_c [MHz]	845
Altura efectiva de la antena del móvil	h_{m} [m]	1.5
Factor de correlación de hre	$a(h_{re})$ [dB]	0.01312
Altura efectiva de la antena de la RBS	h_{te} [m]	32
Factor de corrección por la morfología	CM [dB]	0

Diseño de sistemas de telefonía celular

	Uplink	Downlink
Pot Tx [dBm]	23	28
Pérdida por jumper [dB]	0.5	0.5
No Jumpers	2	2
Pérdida total por jumper [dB]	1	1
Pérdida por L t [dB/100m]	4.46	4.46
Longitud de la L t [dB]	43	43
Pérdida total por L t [dB]	1.9178	1.9178
Ganancia de Ant. Tx [dBd]	16	0
Ganancia de Ant. Rx [dBd]	0	16
NS Mínimo (Sensitividad) [dBm]	-103	-114
Pérdida máxima por propagación [dB]	136.9822	136.9822

Distancia máxima del móvil a la RBS [Km] 2.1544

Se pueden obtener muchos ejemplos mas, similares a estos. Solo se debe jugar con los parametros de configuración. La altura de la antena puede ser mayor o menor, por lo que la línea de transmisión variaría y a su vez la atenuación producida por este.

Claro esta que la frecuencia no es un valor con el que se pueda jugar, si este depende de los servicios y propiamente la banda de frecuencias a la que pertenecen dichos servicios.

En fin se deben buscar las características adecuadas que cumplan con las limitantes economicas y al mismo tiempo proveer un servicio adecuado al cliente.

CAPITULO IV

ANTENAS

4. Antenas

El sistema de antenas es la interfaz entre el sistema de radio y el ambiente externo. Puede consistir de una sola antena en la estación base y otra en el móvil o en la estación receptora.

El tipo de antena usado por el operador del sistema puede ser colineal, logaritmo-periodica, dipolo, o yagui, entre otras.

De acuerdo al tipo de antena será el patrón de radiación, el cual indicará la dirección en que la energía será dirigida. Tomando en cuenta lo anterior hay una clasificación que divide a las antenas en dos tipos:

- a) Omnidireccionales. Son las que proporcionan un patrón de radiación de 360° .
- b) Direccionales. Son las empleadas cuando se requiere un patrón de radiación en una dirección en especial, se utilizan para facilitar el crecimiento de un sistema mediante el reuso de frecuencias, o para delimitar el contorno del sistema.

La elección de una antena para una determinada aplicación debe considerar muchos aspectos, como la ganancia de la antena, su patrón de radiación, la interfaz o acoplamiento con el transmisor, el receptor utilizado para el sitio, el ancho de banda y el rango de frecuencias.

4.1 Tipos de antenas

- a) Isotrópica. Es utilizada como referencia para todas las demás antenas, radia energía uniformemente en todas direcciones.
- b) Dipolo. Emplea un conductor que es de la mitad de la longitud de onda de la señal en que va a operar el sistema, normalmente es acoplada por el centro y tiene una impedancia característica de 73Ω .
- c) Monopolo. Llamada comúnmente antena de Marconi, tiene una longitud de la mitad que un dipolo debido a que utiliza un plano de tierra, la longitud normal es de un cuarto de la longitud de onda de la señal a transmitir. La impedancia característica es generalmente de 36Ω . Una ventaja con respecto al dipolo es que casi duplica la densidad de potencia.
- d) Lazo. Existen circulares y rectangulares. Las características físicas de la antena determinan la longitud de onda para la frecuencia deseada. Este tipo de antenas tiene aplicaciones en dispositivos PCS, y en los radiolocalizadores.
- e) Microcinta. Consiste de una superficie conductora la cual está separada de un plano de tierra por un material dieléctrico. Puede ser rectangular o circular. Sus principales ventajas son el tamaño y el costo, lo cual las hace muy adecuadas para algunas aplicaciones inalámbricas.

4.2 Antenas de la estación base

Existen muchas antenas que pueden ser usadas en una estación base, pero de ellas los dos tipos más utilizados son las colineales y las logoperiodicas.

4.2.1 Colineales

Pueden ser omnidireccionales o direccionales. Este tipo de antena opera con una serie de elementos dipolo que operan en fase. La radiación máxima se da en dirección al eje del arreglo de dipolos. Ver figura 4.1.

4.2.2 Logoperiodicas

Es también llamada LPDA (log-periodic dipole array). Es una antena direccional. Se utiliza cuando se desea un gran ancho de banda.

La LPDA tiene una estructura geométrica cuya impedancia y radiación característica se repiten periódicamente con el logaritmo de la frecuencia. La antena actual consta de muchos elementos dipolos de diferentes longitudes y con diferentes separaciones entre ellos, como se muestra en la figura 4.1.

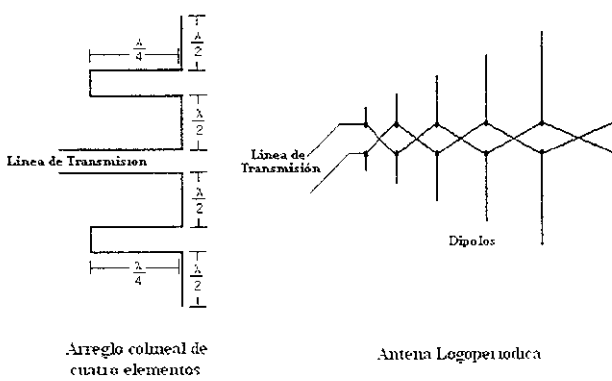


Figura 4.1 Antenas Colmeal y logoperiodica

4.3 Tipos de antenas más comunes

En la figura 4.2 se muestran algunas de las antenas más comúnmente utilizadas en las comunicaciones inalámbricas para las estaciones base

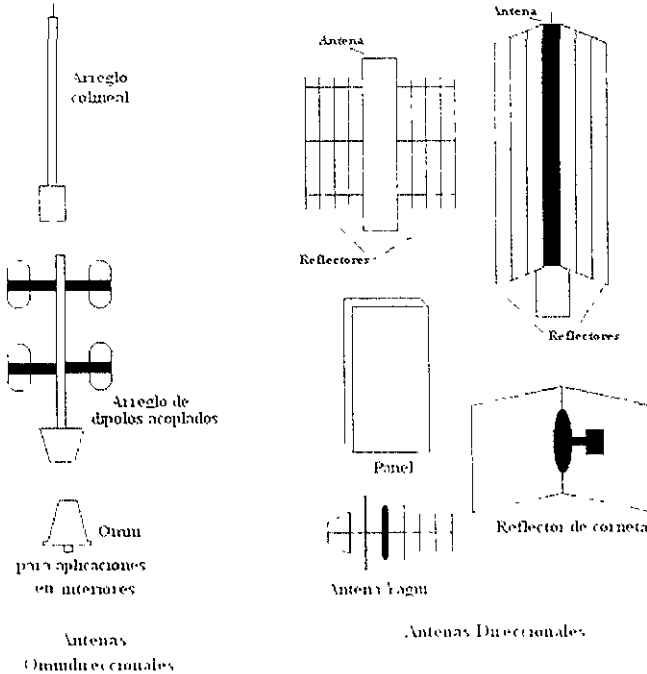


Figura 4.2 Antenas omnidireccionales

4.4 Desempeño

El desempeño de una antena no está limitado a ciertas características de ganancia y atributos físicos. Los parámetros que definen el desempeño de una antena pueden ser consideradas como las figuras de mérito que se aplican a cualquier antena cuando se hace la selección para un sistema de comunicaciones.

A continuación se presentan las principales figuras de mérito que el fabricante de antenas debe cuantificar, y que se deben considerar al elegir una determinada antena.

1. *Patrón de radiación* Debe incluir la representación gráfica de los patrones de radiación de elevación y acimut. Se debe tener cuidado que el diseño de la antena cubra con los requerimientos de diseño de la estación base.

2. *Lóbulo Principal* Es el lóbulo en la dirección de máxima potencia. El lóbulo principal hace referencia a la polarización para la antena y refleja la directividad de la antena.

3. *Lóbulo Lateral* Es cualquier lóbulo que radia en otra dirección con respecto al lóbulo principal. La importancia en considerar los lóbulos radica en que pueden y crean problemas potenciales al generar interferencias.

4. *Impedancia de Entrada* Esta es la impedancia que presenta la antena en sus terminales y es usualmente complejo. La impedancia de entrada de la antena nominal es de 50 W que se acopla a la del cable coaxial conectado al transmisor de la antena. Una desigualdad en la impedancia de entrada obviamente afectará la transferencia de energía.

5. *Eficiencia de radiación* Esta es la relación entre la potencia radiada total de la antena y la potencia radiada efectiva. Es decir la eficiencia de una antena sería de 100 por ciento, si la pérdida de la antena fuera 0. Este número indica cuanta energía se pierde en la antena por sí misma.

$$\epsilon = \text{potencia radiada} / (\text{potencia radiada} + \text{perdidas de potencia}) \quad (11)$$

6. *Ancho de haz* Es la separación angular entre dos direcciones en las que la radiación de interés es idéntica. El punto de potencia media para el ancho del haz es usualmente la separación angular donde hay una reducción de 3 db del lóbulo principal. La reducción del ancho de haz por un incremento en ganancia de 3 db, es aproximadamente un medio del ancho de haz inicial, así si una antena tiene 12° de ancho de haz y tiene un incremento en ganancia de 3 db, entonces su ancho de haz es ahora 6°.

7. *Directividad* Esta es la razón de la intensidad de radiación en una dirección dada y la intensidad de radiación promedio sobre todas las otras direcciones.

$$G(D) = \text{máxima intensidad de potencia radiada} / \text{promedio de la intensidad de radiación} \quad (12)$$

Esta puede ser mejorada con el uso de reflectores.

8. *Ganancia* Esta es una muy importante figura de mérito. La ganancia es la razón de la intensidad de radiación en una dirección dada y la radiación isotrópica de la señal.

$$G = \epsilon * G(D) \quad (13)$$

G = máxima intensidad de radiación de antenas/máxima radiación de una antena isotrópica

9. *Polarización de la Antena* La polarización de la antena se define como los campos de polarización radiados por la antena. La polarización de la antena es definida por medio del vector del campo E . Los sistemas celulares y PCS utilizan polarización vertical.

10. *Ancho de Banda* El ancho de banda define el rango de frecuencias de operación de la antena. La SWR es usualmente como se representa el rango de frecuencia sobre el cual esta es constante. Un ancho de banda típico es con SWR 1.5 para la banda de interés.

11. *Relación frente-atrás (Front-to-back)*. Esta es una relación que expresa cuánta energía se dirige en oposición al lóbulo principal de la antena. La norma de la IEEE 15-1983, hace referencia al front-to-back, como la razón de la máxima directividad de una antena y su dirección específica posterior.

12. *Disipación de Potencia*. Es la potencia total que la antena puede aceptar en sus terminales de entrada.

13. *Intermodulación* Es la cantidad de intermodulación que la antena introducirá a la red por la presencia de fuertes señales, debe ser verificada al correrse la prueba. Por ejemplo, algunos fabricantes proponen la distorsión por intermodulación (IMD) a 2 tonos, mientras que algunos proponen 3 tonos o múltiplos de 3. El punto aquí es, además de conocer el nivel de la señal que la IMD genera, se necesita saber el nivel que causó la IMD.

14. *Construcción* Los atributos de construcción asociados con sus dimensiones físicas, los requerimientos del montaje, los materiales usados, la carga del viento, los conectores y el color, constituyen esta figura de mérito.

Por ejemplo en cuanto a los materiales empleados, es necesario considerar el tiempo de vida de estos, si soportan la corrosión (en especial en zonas cerca del mar por la presencia de agua salada).

15. *Costo* Esta es un muy importante figura de mérito. Debe buscarse una antena que cubra los requerimientos de la estación base al menor costo.

4.5 Diversidad

La diversidad se utiliza en las comunicaciones inalámbricas como un método para compensar el desvanecimiento de la señal en el ambiente. La ganancia de diversidad se basa en el desvanecimiento que tendría lugar en el caso de que alguna técnica de diversidad no sea utilizada. En el caso de un sistema de diversidad de dos ramas, si la señal que se recibe en ambas antenas que no es igual de fuerte, entonces no hay ninguna ganancia por diversidad. Este es un punto interesante a considerar, principalmente cuando se incorpora la ganancia de diversidad en el cálculo de enlace. La única forma para incorporar la diversidad de ganancia en un cálculo de enlace es si el margen de desvanecimiento está incluido en el cálculo de enlace y el esquema de diversidad elegido reduce el margen de desvanecimiento que se haya incluido.

4.5.1 Diversidad en espacio

La diversidad espacial se obtiene al separar físicamente las antenas en una distancia determinada, con un solo propósito, el de minimizar o eliminar los efectos negativos asociados con el desvanecimiento en un ambiente de radio. El objetivo es tener la suficiente separación para incrementar la posibilidad de que en cada antena utilizada en el sistema no se tengan las mismas características de desvanecimiento en el mismo instante de tiempo.

La diversidad es utilizada principalmente en las estaciones base y no en las terminales. El motivo es que la mayoría de las unidades subscriptoras sólo tienen una antena, y por lo tanto en estos casos no es posible mejorar la transmisión con técnicas de diversidad.

4.5.1.1 Horizontal. Es el modo deseado para los sistemas móviles, se muestra con la ecuación 4.4

$$n = \frac{h}{D} \quad (4.4)$$

Donde

h = altura (ft)

d = Distancia entre antenas (ft)

El objetivo es tener antenas separadas de 10 a 20 longitudes de onda para la frecuencia de operación

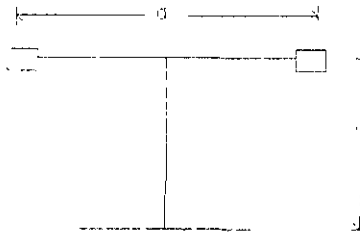


Figura 4.2 Diversidad horizontal

4.5.1.2 Vertical La diversidad vertical es otra forma de diversidad, la cual, cuando es aplicado al campo de las comunicaciones móviles, requiere que las antenas estén separadas por una separación vertical definida. La separación vertical puede ser usada como un método en las comunicaciones móviles. Sin embargo, la desventaja es que la separación típica de las antenas es mucho mayor para la separación vertical que para la horizontal. Además el ángulo de espereamiento de la multi-trayectoria es usualmente pequeño para un ambiente móvil, haciendo esta técnica poco atractiva para mejorar la multi-trayectoria del ambiente para distancias móviles.

4.5.2 Polarización

Esta forma de recepción de diversidad comprende el empleo de dos diferentes ramas que son polarizadas en planos ortogonales. La diversidad de polarización se permite así misma un solo sistema de dos ramas en la práctica. Es por ello que en el ambiente móvil ha sido y continúa trabajando con este tipo de implantación. La principal ventaja que la diversidad de polarización ofrece a un sistema de comunicación es que requiere de un reducido número de antenas.

4.5.3 Diversidad en tiempo

Su utilización se basa en el principio que la señal tendrá diferentes características de desvanecimiento cuando se envíe en diferentes tiempos. El intervalo de tiempo requerido para la diversidad de tiempo es lo contrario del ancho de banda del desvanecimiento esperado para el canal en cuestión. La diversidad de tiempo es usualmente explotada en intervalos y corrección de error en retroceso. Sin embargo, una de las desventajas con la utilización de la diversidad de tiempo es el proceso de tiempo requerido para recolectar y correlacionar todas las señales repetidas y pérdidas en el proceso.

4.5.4 Diversidad en frecuencia

Comprende la técnica de transmisión de información, en dos diferentes frecuencias. Las frecuencias deben ser tales que cada una tendrá un desvanecimiento no correlacionado con la otra. La primera ventaja del empleo de diversidad de frecuencia para un sitio de comunicación es la reducción en el número requerido de antenas para dicha locación. La desventaja es que para lograr la diversidad utilizando este tipo de esquema, la eficiencia en frecuencia de los sistemas, es reducida a la mitad de lo que se tenía al principio. Además la diversidad de frecuencia requiere un segundo transmisor en la locación de envío, lo cual no es práctico para un ambiente móvil.

4.5.5 Diversidad de ángulo

Es otra técnica utilizada para reducir el desvanecimiento en un sistema de comunicaciones móvil (en especial en aplicaciones de microondas e inalámbricos). El uso de la diversidad en ángulo fue explotado en un ambiente de seis sectores para comunicación celular, esta técnica tiene la ventaja de proveer diversidad, mientras que al mismo tiempo reduce la elevación de carga que normalmente acompaña técnicas de diversidad de espacio.

Este tipo de diversidad cuenta con un ángulo de llegada de una señal, en lugar de contar con una separación física de antenas para responder a diferentes características de desvanecimiento de la misma señal.

Un sistema de diversidad típico se muestra en la figura 4.4

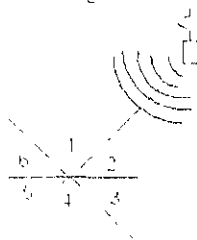


Figura 4.4 Diversidad de ángulo

4.6 Aislamiento de la antena

El aislamiento que se debe tener entre la antena de transmisión y la de recepción se puede hacer con la separación física de las antenas o con la utilización de filtros en el sitio celular. El aislamiento se expresa en términos de dB's de atenuación que la señal del transmisor sufrirá cuando pase frente a la antena receptora.

En el caso de la atenuación debida a la separación vertical (VI -Vertical Isolation), se tiene la ecuación 4.5

$$VI = 28 + 40 \text{ Log (Separación vertical / longitud de onda)} \quad (4.5)$$

En el caso anterior la separación vertical debe ser mayor a la longitud de onda. Generalmente una separación vertical brinda un mayor aislamiento que una horizontal, pero si este fuera el caso se puede utilizar la ecuación 4.6

$$HI = 22 - 20 \text{ Log (Separación Horizontal / Longitud de onda)} \quad (4.6)$$

En la relación anterior el cociente debe ser mayor a 10 para que sea aplicable

Cuando se da la situación de una combinación de separaciones horizontal y vertical (SI-Slant Isolation-), se debe considerar el ángulo entre las antenas (θ) y usar la relación 4.7

$$SI = (VI - HI) * (\theta / 90) + HI \quad (4.7)$$

4.7 Ganancia

En una antena hay una relación entre su ancho de banda y la ganancia. El largo de una antena se determina en términos de longitud de onda. La ganancia y la directividad son términos para la antena. Sin embargo, el más amplio ancho de banda de antena se supone para operar sobre la menor ganancia total que tendrá.

En la figura 4.5 se pueden ver los efectos que se tienen en los patrones de radiación de un monopolo y los efectos que tiene al poner un elemento más.

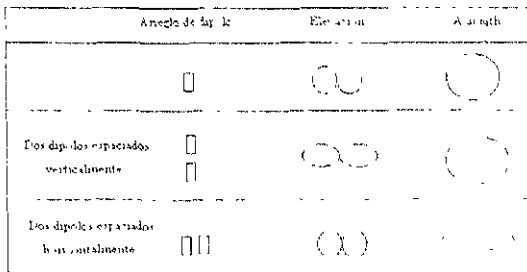


Figura 4.5 Patrones de radiación

Para calcular la ganancia se ocupa la fórmula de abajo donde se puede ver la relación entre la ganancia y el ancho del lóbulo

$$G = 10 \log_{10} [\ln (11253) (0.1 * \theta)] \quad (4.8)$$

Donde:

- G = ganancia de la antena, dB_i
- n = factor de eficiencia (≤ 1)
- $\theta_E = 3$ dB plano E
- $\theta_H = 3$ dB plano H

La relación muestra que si el tamaño vertical de la antena se incrementa al doble, la anchura del lóbulo de la antena en el plano vertical o de elevación disminuye a la mitad de su valor original. Y al disminuir la anchura del lóbulo la ganancia se incrementa por 2 o 3 dB

4.8 Conectores

En los sistemas inalámbricos de comunicaciones se utilizan muchos conectores de diferentes tipos, estos dependen de las aplicaciones que se manejan. El conector elegido electricamente es una ampliación del cable coaxial utilizado. Los tipos que normalmente se utilizan se listan abajo:

- ✓ Tipo N
- ✓ 7/16 DIN
- ✓ EIA flange
- ✓ SMA
- ✓ Inc
- ✓ Mini UHF
- ✓ UHF

Hay conectores que son más comunes en los sistemas de comunicaciones, como es el caso del conector N y el 7/16 DIN. Y esto depende de sus características y su desempeño. Cuando se selecciona un conector, se necesitan conocer ciertos puntos:

1. Tamaño del cable
2. Rango de frecuencia
3. Método de acoplamiento
4. SWR
5. Supresión de intermodulación
6. Instalación
7. Mantenimiento

4.9 Antenas inteligentes

Los sistemas de antenas inteligentes pueden ser configurados tanto como sistemas para solo recibir o full duplex. El objetivo principal es el incrementar la relación S/N al reducir la medida de ruido e interferencia, e incrementando el nivel de la señal de información en el mismo proceso.

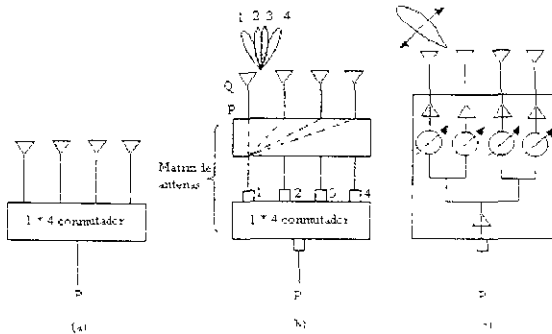
La tecnología se basa en el principio que un estrecho patrón de radiación proveera un aumento en ganancia y puede dirigirse hacia el suscriptor y a la vez ofrecer menor ganancia para señales de interferencia que llegarán a un ángulo fuera del eje debido a la reducción de la anchura del lóbulo.

Una regla simple puede usarse para determinar la cantidad de mejora del S/N que puede lograrse con un sistema de antena inteligente.

El calculo de la mejora del S/N se muestra abajo, donde N = número de segmentaciones

$$\text{Mejoria esperada} = + 10 \log_{10}[N] \quad (49)$$

Se muestran en la figura 4.6 tres tipos de sistemas de antenas inteligentes, cada uno con atributos positivos y negativos. Todos los sistemas mostrados pueden ser solo de recepción o full duplex. La diferencia entre los sistemas full duplex y de solo recepción involucra el número de antenas y numero potencial de elementos de transmisión en el sitio celular



(a) Configuración de antenas $F = 4 \times 4$
 (b) Arreglo de lóbulo múltiple $F = 4 \times 4$
 (c) Arreglo de lóbulo dirigido $F = F \times F$

Figura 4.6 Sistemas de antenas inteligentes

El arreglo de antenas de lóbulo conmutado mostrado en la figura 4.7 es el mas sencillo de implementar. Normalmente involucra cuatro antenas estándar de estrecho ancho del lóbulo de acimut 30° para un sector de 120° , y con base en la recepción de la señal, la antena apropiada será seleccionada por el controlador de la estación base para su uso en la trayectoria recibida

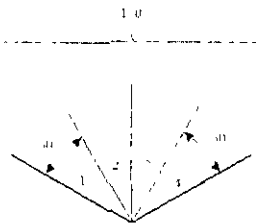


Figura 4.7 Arreglo de cuatro antenas

El conjunto de lóbulo múltiple mostrado involucra el uso de una matriz de antena para realizar la conmutación del lóbulo. El arreglo de lóbulo dirigido, sin embargo, utiliza el cambio de fase para dirigir el lóbulo hacia la unidad del suscriptor. La dirección elegida por el sistema para dirigir el lóbulo afectará el sector entero

Normalmente amplificadores para transmitir y recibir se ubican conjuntamente con la antena. Además los trasladores de fase se ubican directamente detrás de cada elemento de la antena. El objetivo de poner la electrónica en la parte superior es el aumentar al máximo la sensibilidad de recepción y explotar la máxima potencia transmitida para el sitio

4.10 Selección de la antena

El proceso de selección de antena puede ser directo, pero se recomienda que la antena escogida satisfaga los requerimientos deseados para el sitio celular y el sistema. La antena seleccionada para la aplicación debería cumplir como mínimo los siguientes puntos importantes.

- 1 Los patrones de elevación y acimut cumplirán los requerimientos
- 2 La antena expondrá la ganancia apropiada deseada
- 3 La antena estará disponible en un stock común, inventario de compañía
- 4 La antena se podrá montar adecuadamente en la ubicación, es decir, será montada físicamente en la ubicación deseada
- 5 Las antenas no afectarán adversamente la torre, viento, y el hielo que carga para la instalación
- 6 El impacto visual (negativo) debe ser minimizado en la fase de selección y diseño
- 7 La antena cumplirá las especificaciones deseadas de desempeño

4.11 Inclinação de la antena

Un punto importante en los ajustes de fase en la inclinación de la antena son los efectos de terreno sobre el modelo mismo. Frecuentemente el ángulo que llevara la antena se elige únicamente con base en el patron de elevación de la antena. Para encontrar el ángulo de inclinación se debe partir de un valor de potencia deseado en un punto específico. De allí se empieza a hacer un barrido para buscar un punto dentro del espectro de radiación que cumpla con este requerimiento de potencia. Así en el momento de cumplir con la potencia deseada, se obtiene el ángulo de inclinación de la antena.

4.11.1 Procedimiento de barrido

Hay varios métodos de barrido para un sistema de antenas. Es importante tener un conjunto definido de objetivos para un procedimiento de barrido. También hay que tener en cuenta los parámetros de pérdida de todos los elementos que intervienen en ello; para que estos sean los adecuados para las mediciones que se involucren en el barrido.

Un método de "barrer" un sistema de antenas es mediante el uso de un reflectómetro en el dominio del tiempo (TDR). El TDR es una herramienta muy valiosa para detectar problemas de la línea de alimentación, es decir, rizado de los cables debido a curvas excedentes. El TDR tiene la desventaja de no ofrecer características de frecuencia del sistema de antenas.

Otro método es mediante el uso de un generador de rastreo y un servieto de monitor o analizador de espectros. Esto tiene la única ventaja de determinar las características en frecuencia del sistema de antenas y ofrece pocos o ningún datos de posición para determinar donde hay una falla, en el caso de que exista.

Un tercer método usa un analizador de red que tiene la capacidad de hacer el análisis no solo en el dominio de la frecuencia sino también en el dominio del tiempo.

CAPITULO V

EQUIPOS

5. Equipos

Aunque entre un sistema de red celular y otro existen diferencias en cuanto a los equipos empleados, en este capítulo se presentan de forma general algunos de los más comunes que se emplean en cualquiera de ellos.

5.1 Moduladores

Un problema común de todos los métodos de comunicación es el relacionado con la distancia física entre el receptor y el transmisor.

Con el fin de incrementar la distancia entre ellos, y al mismo tiempo incrementar la tasa de transferencia de información se usan ondas electromagnéticas. Para utilizar las ondas electromagnéticas es necesario modular la onda portadora en el transmisor y demodularla posteriormente en el receptor.

La elección de las técnicas de modulación y demodulación utilizadas en cada sistema de radio comunicación depende directamente del tipo de información que se transmitirá, el espacio en el espectro con que se cuente y del costo. El objetivo principal de modular una señal es el obtener la máxima eficiencia del espectro.

Existen muchos tipos de modulación, pero todos ellos caen en alguno de los tres fundamentales o en alguna combinación de estos.

- a) La Amplitud Modulada (AM) modifica A , esta técnica tiene cualidades únicas pero no se utiliza en comunicaciones celulares debido a que presenta una gran susceptibilidad al ruido.

- b) La Frecuencia Modulada (FM) modifica f_c , es utilizada por AMPS y TACS, su uso en las comunicaciones analógicas celulares es gracias a que es mas robusto contra interferencias. GSM utiliza también una forma de FM, que se llama GMSK
- c) La Fase Modulada (PM) modifica θ Este tipo de modulación es empleado por TDMA y CDMA. Existen muchas variantes de la modulación en fase, específicamente muchas técnicas de modulación modifican la fase y la amplitud de la portadora de RF

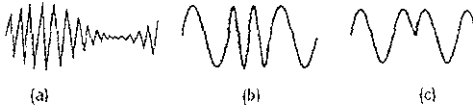


Figura 5.1 Tipos de Modulación

5.1.1 Ancho de banda de la información

El ancho de banda de la información y del canal juegan un papel principal al momento de elegir el esquema de modulación que se empleará en un sistema de comunicación

La capacidad teórica está definida por la ecuación 5.1 de Shannon-Hartley

$$C = B * \log_2(1 + S/N) \tag{5.1}$$

Donde

- S/N - Es la relación señal a ruido
- B - Es el ancho de banda
- C - Es la capacidad del canal

La tabla 5.1 contiene un resumen de las eficiencias espectrales de algunas de las plataformas de comunicaciones inalámbricas más comunes

Sistema	Técnica de Modulación	Ancho de banda del canal (KHz)	Taza de datos (Kbits/s)	Eficiencia espectral (bits/s/Hz)
NADC	QPSK	30	48.6	1.62
GSM	GMSK(0.3)	200	270.8	1.35
CDMA	QPSK	1230	1230	1.0
DDC	$\pi/4$ QPSK	25	42	1.68
CT-2	GMSK	100	72	0.72
DECT	GMSK (0.5)	1728	1572	0.67

Tabla 5.1 Eficiencias Espectrales de Plataformas de Comunicación Inalámbrica

5.1.2. Modulación en Amplitud (AM)

Como se mencionó anteriormente la amplitud modulada se fundamenta en la variación en el parámetro de la amplitud de la señal a modular

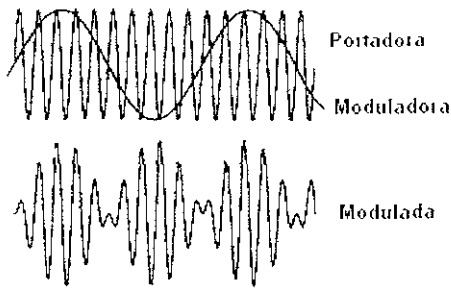


Figura 5.2 Modulación en Amplitud

Existen muchas formas de la modulación en amplitud, entre ellos AM, ASK, SSB, DSB, VSB y QAM. La Figura 5.3 ilustra el método básico de la modulación en amplitud.

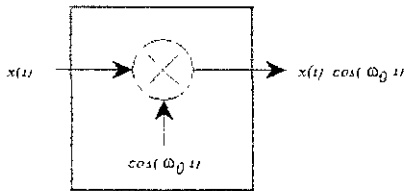
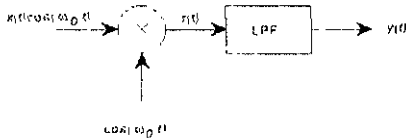
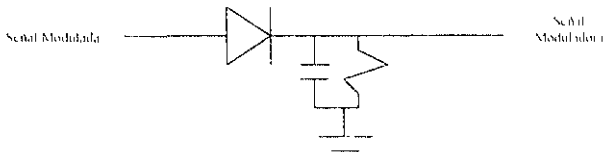


Figura 5.3 Metodo basico de la Modulación en Amplitud

En el caso de la demodulación se muestran dos figuras, en la Figura 5.4 se presenta un método no coherente (no requiere de una onda de referencia), y en la Figura 5.5 el método coherente



Figuras 5.4 Metodo No Coherente para Demodulación



Figuras 5.5 Metodo Coherente para Demodulación

5.1.2.1 ASK (Amplitude Shift Keying)

Es un método de envío de información digital a través de la modulación en amplitud. Su principio es alterar la amplitud de la portadora una determinada razón dependiendo de si el dato es cero o uno. ASK puede completamente suprimir la portadora para cero o para uno, o simplemente alterar un poco su amplitud.

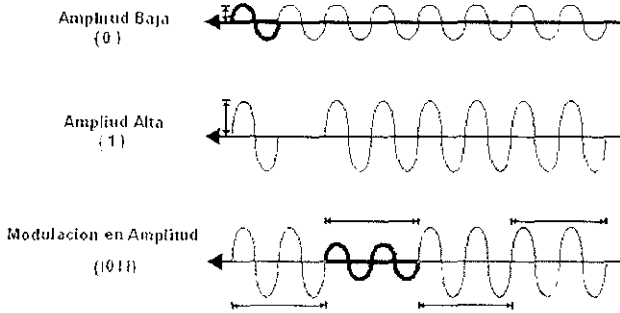


Figura 5.6 Método de Envío de Información Digital con Modulación en Amplitud

5.1.3 Modulación de la frecuencia (FM)

La modulación de la frecuencia es obtenida variando la frecuencia de la portadora como una función lineal de la señal de información (señal moduladora), sin cambiar la amplitud de la portadora. La ventaja principal de la modulación FM es su mayor inmunidad al ruido comparándola, con los métodos de modulación AM.

La modulación de la frecuencia puede ser utilizada para enviar información de voz o datos. FM es utilizada en muchos sistemas de comunicación inalámbricos. Algunos formatos de modulación FM que son empleados por las comunicaciones inalámbricas comprenden FSK, MSK y GMSK.

5.1.3.1 FSK

Frequency shift keying (FSK), es otra forma de modulación de la frecuencia. FSK es utilizado para enviar datos de un punto a otro, cambiando la frecuencia a la que la portadora o el contenido de la información opera. FSK puede ser usado para mandar información binaria simple, enviando información como una de dos frecuencias diferentes.

FSK también se puede enviar por más de dos frecuencias diferentes, es decir, cuatro frecuencias discretas, representando un sistema FSK de cuatro niveles.

FSK puede ser generado por varios métodos. El mejor método para usar FSK es modular la frecuencia de la portadora, por medio del uso de la frecuencia por generación de un 1 o un 0.

5.1.3.2 MSK

Minimum shift keying (MSK) es una señal FSK que tiene un índice de modulación de 0.5, y por lo tanto el desplazamiento de la frecuencia es dos veces la tasa de datos. MSK tiene la característica única de ser referida a muchas formas diferentes de modulación. Por ejemplo, MSK está referida a FSK, como a FFSK y al CPFSK (*Continuous phase frequency shift keying*) y a una variante de QPSK (*Offset quadrature phase shift keying*).

La señal MSK tiene como regla general ocupar 1/2 veces de la tasa de bits (*bit rate*)

5.1.3.3 GMSK

GMSK, (*Gaussian minimum shift keying*) es otra técnica de modulación que se deriva del método de MSK. GMSK es igual que MSK, excepto porque usa un filtro paso bajas para la modulación de la señal. El objetivo de usar el filtro es mejorar la eficiencia del ancho de banda de la señal.

5.1.4 Modulación en fase (PM)

La modulación en fase es un tipo de modulación angular. Esta puede tomar muchas formas. La fase de la portadora es modificada en función del contenido de la información a mandarse. Este método es ideal para transportar información digital. Los casos de PM más conocidos son PSK, BPSK, QPSK y DPQSK.

La modulación en fase es escogida como método para mejorar la eficiencia espectral para la transmisión de datos.

5.1.4.1 BPSK

BPSK es un método de modulación de portadora en fase usando dos ángulos. Los cuales son por lo regular 0° y 180° , pero hay diferentes variantes. Una portadora BPSK se representa en la figura 5.7.

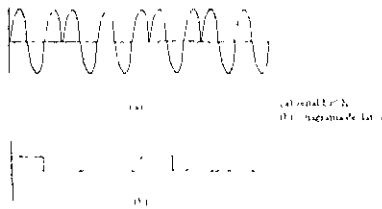


Figura 5.7 Portadora BPSK

5.1.4.2 QPSK

QPSK es una forma de modulación en fase que contempla solo cuatro valores de ángulos para representar datos. Los cuatro estados de la fase son conseguidos mediante diferentes valores de I y Q, utilizando cuatro estados de fase; es decir, la cuadratura permite que cada fase represente dos bits de datos.

Las ventajas del uso de QPSK es la eficiencia del ancho de banda. Desde que dos bits son representados por un símbolo, se necesita menos espectro para transportar la información.

5.1.4.3 DQPSK

DQPSK es una técnica de modulación similar a QPSK. La principal diferencia entre DQPSK y QPSK es que DQPSK no requiere que una referencia de la cual se juzgue la transición. En lugar de eso el patrón de datos de DQPSK es referido al estado de fase anterior.

La modulación $\pi/4$ DQPSK es similar a DQPSK, la diferencia es que $\pi/4$ DQPSK esta desfasada 45° .

5.1.5 Métodos del despliegado de formas de onda digital

Los cuatro métodos principales para ver señales digitales moduladas son en el espectro, diagrama de vector, diagrama de constelaciones, y el diagrama de ojo.

5.1.5.1 Espectro

Es probablemente el método más común para inspeccionar cualquier esquema de modulación en RF. Sin embargo, para inspeccionar la modulación digital, la exhibición de espectro tiene valores limitados para el análisis. El principal beneficio de utilizar una exhibición de espectro es el inspeccionar el espectro entero.

La exhibición de espectro puede usarse para inspeccionar emisiones fuera de banda y las bandas laterales de la señal modulada digitalmente.

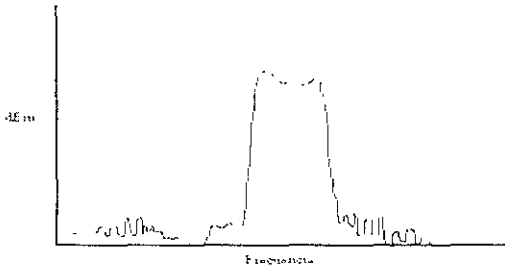


Figura 5.8 Despliegado del espectro

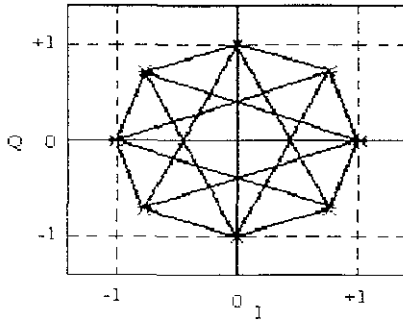
5.1.5.2 Diagramas I&Q

Un método que se utiliza para representar la modulación de amplitud y de fase es por medio de los diagramas I&Q.

5.1.5.3 Diagrama de Vectores

En el básicamente se grafican las componentes I como una función de Q. Su propósito es el inspeccionar las transiciones entre los diversos estados en una señal modulada digitalmente en cuadratura. Los estados de transición pueden usarse para determinar la calidad total de la modulación de la señal que está siendo inspeccionada. Si hay poco error con la señal las

ubicaciones sobre el diagrama vector que representan los puntos del símbolo son fácilmente definibles y las trayectorias de transición de variación cruzan estrechamente a cada de estos puntos

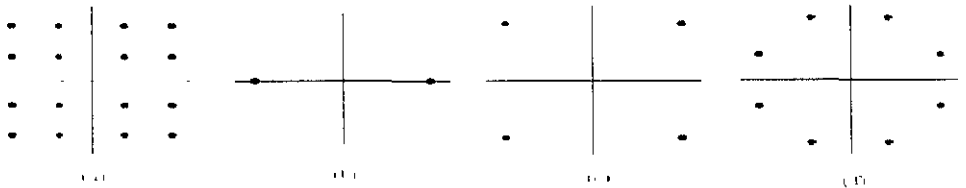
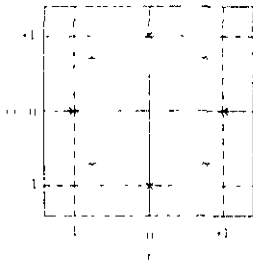


11-4 QPSK

Figura 5-9 Diagrama de Vectores

5.1.5.4 Diagrama de constelación

Otro metodo de inspeccionar la modulacion digital es el diagrama de constelación, que se utiliza para mostrar la relación entre estados diferentes de fase y amplitud de la señal modulada. Muestra el vector error en el tiempo de muestreo del símbolo. El vector de error es la diferencia entre la ubicación del símbolo teórico y la ubicación del símbolo real sobre el diagrama de constelación.



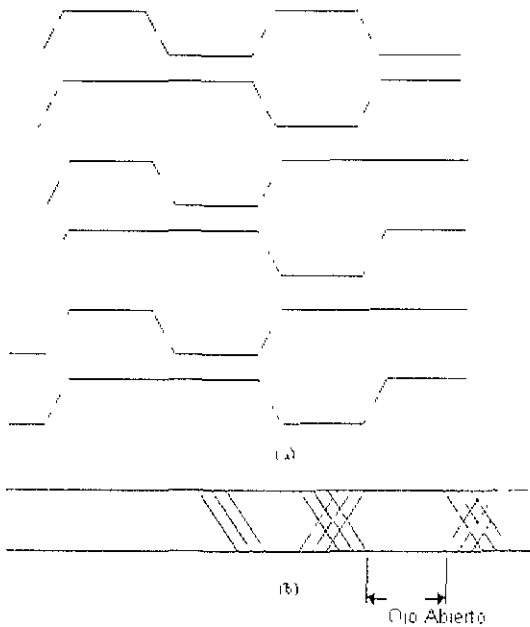
(a) 16 QAM, $m = 10$ (b) BPSK, $m = 2$ (c) QPSK, $m = 4$ (d) 8 QPSK, $M = 8$

Figura 5-10 Diagrama de Constelación

5.1.5.5 Diagrama de ojo

Para una modulación de cuadratura el diagrama de ojo mapea componentes I y Q como componentes en función de tiempo. Utilizando el diagrama de ojo se pueden determinar los errores de amplitud y fase del sistema. Conforme el número de errores en la fase y la amplitud aumenta, el patrón de ojo se cierra.

La altura del ojo es un indicador directo de cuán bien la señal se comporta en la presencia de ruido en la red. La anchura del ojo es una determinación de la inmunidad de la señal para cronometrar errores de fase. Si la anchura disminuye, es un indicio que el muestreo que el sistema usa no es suficiente o sea óptimo. A mayor inclinación menos inmune estará la señal a cambios en el tiempo de muestreo del reloj.



(a) Formación de un diagrama de ojo
 (b) Señales presentadas por un diagrama de ojo

Figura 5.11 Diagrama de Ojo

5.2 Filtros

Los filtros juegan una parte integral en el diseño y la operación de un sistema de radiocomunicaciones. La selección de los tipos de filtros a usar se basan en su misión de funcionalidad y costo, en términos de espectro o elementos monetarios actuales. El objetivo de un filtro es obtener la energía deseada o que la información a transmitir no esté distorsionada en cualquier fase, amplitud o tiempo y que al mismo tiempo sea suprimida cualquier otra energía.

Con la proliferación de las comunicaciones inalámbricas, especialmente en las bandas de 800 MHz y 1.9 GHz, se necesita poner particular atención a las características de los filtros de las estaciones base. Con esta proliferación viene la demanda de filtros físicamente más pequeños y con mayores características de atenuación de las señales no deseadas, y que al mismo tiempo no distorsionen la señal deseada.

5.2.1 Tipos de Filtros.

Las características específicas de un filtro son manejadas por su construcción física, la cual es un aspecto importante del proceso de selección.

Cuatro clasificaciones generales de filtros son usadas en todas las radiocomunicaciones. Estas clasificaciones de filtros se muestran abajo. Debe notarse que hay muchos inconvenientes al realizar combinaciones de los tipos de filtros generales. La configuración específica seleccionada es totalmente dependiente de la aplicación a resolver y de las características comerciales aceptables que vienen a lo largo de la selección del filtro.

La clasificación general para los filtros cae dentro de uno de los siguientes cuatro filtros básicos:

1. Filtro paso bajas
2. Filtro paso altas
3. Filtro paso banda
4. Filtro supresor de banda

Idealmente un filtro pasaría sin atenuación todas las frecuencias dentro de una banda de paso especificada y atenuaría infinitamente todas las frecuencias fuera de la banda. Además el tiempo de respuesta de un filtro debería ser tal que la salida sea idéntica a la entrada con algunos retrasos de tiempo. En otras palabras la función de transferencia para el filtro debe ser igual a 1, solo para las frecuencias de interés.

El tipo de filtro específico seleccionado, debe ser determinado con base en las características comerciales o las imperfecciones que pueden ser toleradas. Sin embargo, la selección de características comerciales es frecuentemente una labor difícil, dado que el filtro ideal no es realmente realizable.

5.2.1.1 Filtro paso bajas

Un filtro paso bajas simplemente pasa las señales desde frecuencia cero (DC) hasta una frecuencia de corte segura y desecha todas las señales, en las cuales las frecuencias son más altas que la frecuencia de corte. El más simple del filtro paso bajas es el circuito RC, mostrado en la figura

5.12 La función de transferencia particular, de la expresión 5.2 indica que hay un solo polo con este filtro

$$\frac{e_{out}}{e_{in}} = \frac{1}{S + \frac{1}{2\pi RC}} \quad (5.2)$$

La figura 5.12(b) es una gráfica de Bode de un filtro paso bajas. La gráfica de Bode ilustra que la salida es igual a la entrada para bajas frecuencias. Sin embargo, conforme la frecuencia incrementa la amplitud de la señal disminuye a 70.7 por ciento (3 dB) a esa frecuencia se le llama frecuencia de corte, la cual es el punto en el que las impedancias del resistor y del capacitor son iguales.

La frecuencia de corte es

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5.3)$$

Los filtros pasivos como el filtro RC, tiene polos localizados en el cuadrante izquierdo de la grafica del plano S mostrada en la figura 5.12

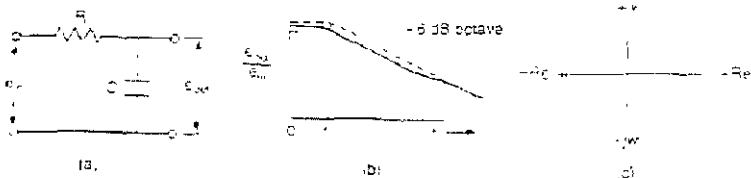


Fig. 5.12 Filtro paso bajas (a) Circuito (b) Gráfica de Bode (c) Gráfico de polos del filtro paso bajas

Figura 5.12 Filtro Paso Bajas

5.2.1.2 Filtro paso altas

El filtro paso altas atenuará (rechazara) todas las señales que tengan una frecuencia igual a la de corte y pasará todas las señales arriba de dicha frecuencia.

Las características para un filtro paso altas son muy similares a las de un filtro paso bajas, con la excepción de que los papeles son contrarios por sus objetivos con respecto a la frecuencia de corte.

5.2.1.3 Filtros Paso Banda

Este tipo de filtro pasa las frecuencias de la señal en la region de banda de paso y atenúa las frecuencias arriba y debajo de esta región. El filtro paso banda es diseñado como una separacion de las características del filtro paso altas y paso bajas.

La frecuencia central para el filtro de banda de paso se expresa como la geometia entre las frecuencias ± 3 dB para los limites superiores e inferiores.

La selectividad del filtro (también conocida como la Q del filtro) establece la discriminacion de la frecuencia del filtro. La selectividad Q del filtro se incrementa conforme la distancia entre la más baja y la más alta de las frecuencias de corte se reducen. Ver las Ecuaciones 5.4 y 5.5.

$$f_0 = f_{H1} - f_L = (849\text{MHz}) - (824\text{MHz}) = 25\text{MHz}$$

$$Q = \frac{f_0}{f_{H1} - f_L} = \frac{25}{849 - 824} = 1.04$$

(54) y (55)

Los filtros paso banda son filtros de banda ancha o banda angosta. Los filtros paso banda de banda angosta, tienen una razón superior a la frecuencia de corte.

5.2.1.4 Filtro Supresor de Banda (notch)

El filtro supresor de banda, también conocido como filtro "notch", es usado para eliminar selectivamente las señales no deseadas de los sistemas de comunicaciones. Específicamente el filtro de rechazo de banda atenúa las frecuencias de la señal en el centro o en la región "notch" y pasa las frecuencias arriba y debajo del "notch". La figura 5.13 representa un filtro supresor de banda.

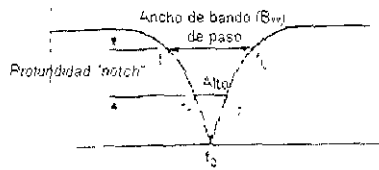


Figura 5.13 Filtro supresor de banda

5.2.1.5 Filtro Cristal

Un filtro cristal es un filtro de paso banda angosto, comúnmente se refiere a filtros de cuarzo. El filtro cristal es usado principalmente en circuitos RF por un radio y es equivalente a un circuito tanque LC. Específicamente el filtro cristal pasará las frecuencias laterales de la frecuencia del cristal, pero rechazará las otras.

5.2.1.6 Filtro armónico

El filtro armónico es un filtro paso bajas o paso banda, dependiendo de su aplicación. El objetivo del filtro armónico es eliminar todas las armónicas, excepto la portadora y las bandas laterales de transmisión. La figura 5.14 es una representación simple de un filtro armónico usando un filtro paso bajas.

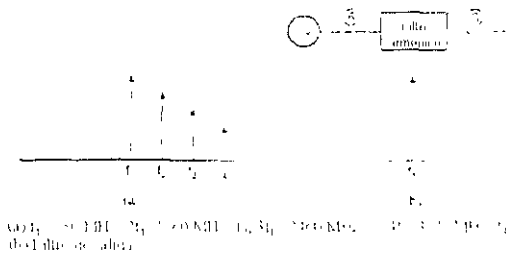


Figura 5.14 Filtro Armónico

5.2.1.7 Filtro de Onda Acústica de Superficie (SAW, por sus siglas en Inglés, *Surface Acoustic Wave*)

El empleo de los filtros SAW en un sistema de comunicación es una razón de la reducción del tamaño físico de los dispositivos. Los filtros SAW pueden venir como paso bajas, paso altas, paso banda y filtros de banda supresora. La ventaja con el uso de los filtros SAW es principalmente su pequeño tamaño, el bajo costo de fabricación, y la relativamente respuesta de la banda de paso acoplada con un retraso del grupo bajo, a través de la banda. Su principal desventaja es la gran pérdida de inserción. Sin embargo, ocupa un lugar importante en los sistemas de comunicaciones, usualmente en la región IF, la pérdida de inserción puede ser superada con la ganancia de amplificación.

5.2.2 Características generales de los filtros

Lo siguiente es un proceso de selección general para determinar el tipo de filtro general necesario para la aplicación. Sin embargo, para asegurar varias aplicaciones, los filtros pueden ponerse en cascada para resolver un diseño de un elemento en particular.

Las reglas generales son las siguientes:

Filtro paso bajas rechazo de la interferencia de altas frecuencias, límite de banda, supresión de armónica.

Filtro paso altas límite de banda, reducción del ruido, eliminación de interferencia, condicionamiento de señal emitida.

Filtro paso banda rechazo de frecuencia selectiva, reducción de ruido, eliminación de interferencia.

5.2.3 Clasificaciones de Filtros

Una vez que se ha tomado la decisión en la selección del tipo de filtro, debe elegirse el tipo de diseño del filtro necesario. Hay varias selecciones generales para el diseño del filtro, cada una tiene sus aspectos positivos y negativos. Las clasificaciones de filtros que se cubrirán, comprenden filtros de tipo Butterworth, Tchebysheff (Chebyshev), Bessel y de tipo elíptico.

5.2.3.1 Butterworth

El filtro Butterworth es uno de los tipos de filtros más comúnmente utilizados. Tiene una función de transferencia que proporciona respuestas con amplitud plana en la banda de paso y se alejan $-6\text{dB}/\text{octava}$, más allá de la frecuencia de corte. Este tipo de filtro tiene los polos espaciados uniformemente sobre un círculo unitario alrededor del origen, en la mitad izquierda del plano S, el cual proporciona una respuesta en frecuencia plana.

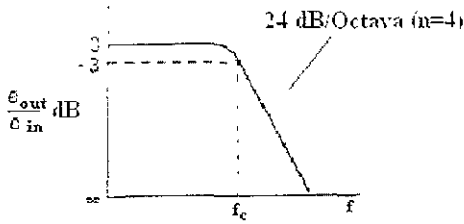


Figura 5 15 Grafica de Bode de un filtro Butterworth paso bajas de cuatro polos-

El filtro Butterworth es usualmente seleccionado cuando la precisión de ganancia de la banda de paso es de extrema importancia. El filtro Butterworth también muestra una cantidad moderada de disparo en la respuesta de fase.

5.2.3.2 Tchebysheff (Chebyshev).

Los tipos de filtro Tchebysheff son seleccionados cuando la tasa entre la banda de paso y la banda de alta, que está en la banda de transición, es de primordial importancia y las variaciones de ganancia (diferencias de amplitud) dentro de la banda de paso son secundarias.

La función de transferencia para un filtro Tchebysheff alcanza una punta de banda de transición en la que el costo es el rizo permitido en la banda de paso.

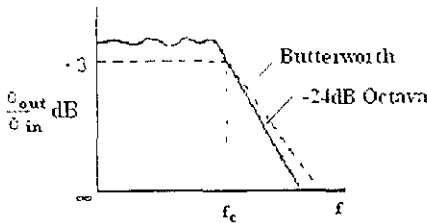


Figura 5 16 Grafica de Bode de un filtro Tchebysheff paso bajas de cuatro polos-

El filtro paso bajas mostrado en la figura 5 16, tiene sus polos distribuidos en una elipse alrededor del origen. Este tipo de filtro tiene una banda de paso, donde la magnitud del rizo depende de la desviación de la elipse desde el círculo.

5.2.3.3 Filtro Cauer

Estos filtros, también llamados filtros "anti aliasing" tienen buen aplanamiento de la banda de paso y características de ruido de ancho de banda bajas características, pero su retraso de grupo no uniforme puede causar algún sobrepaso o resonancia.

El filtro Cauer paso bajas tiene polos distribuidos en una elipse alrededor del origen y pares de ceros en el eje imaginario alrededor de la frecuencia de corte. La respuesta del filtro es equiparable en la banda de paso y equiparable en la base de la banda de alto. Este filtro produce una tasa de roll-off más puntiaguda que el Butterworth o Tchebyshev

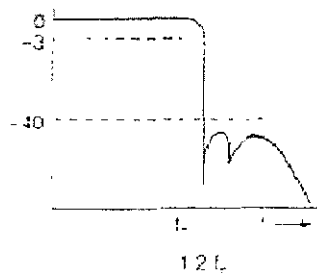


Figura 5.17 Grafica de Bode de un filtro de Cauer paso bajas de cuatro polos

5.2.3.4 Filtro Bessel

Los filtros Bessel tienen aplicaciones digitales específicas. Un filtro Bessel retrasará todos los componentes de frecuencia en la banda de paso del filtro en la misma cantidad de tiempo. Este tipo de filtro es usado en la reconstrucción de formas de onda y aplicaciones de radio digitales.

Un filtro Bessel tiene un retraso de grupo constante y preserva el retraso de respuesta en tiempo, pero con un uso de tiempo inversamente relacionado a la frecuencia de corte. Con un filtro Bessel, no ocurre resonancia en una forma de onda.

La función de transferencia Bessel es aproximadamente un retraso de tiempo constante en la banda de paso. El retraso de fase se incrementa linealmente desde 0 a $N\pi r$ (radianes), y la respuesta de amplitud es -3 dB debajo de la frecuencia de corte f_c .

5.2.4 Criterios de Desarrollo de Filtros

Muchos aspectos y criterios definen un desarrollo de filtros. Específicamente si el diseño, consiste en un filtro que pase frecuencias entre 1930 y 1945 MHz, un filtro paso banda podrá ser el mejor tipo general a utilizar. Sin embargo, los otros atributos para el filtro determinarán como desarrollarlo en la aplicación. Por ejemplo, la habilidad de dispersión de potencia, no podrá ser un criterio de un filtro receptor pero será muy importante para un filtro transmisión.

Cuando se selecciona un filtro, lo siguiente a realizar, son algunos criterios que debieron ser definidos durante la fase del diseño del sistema de comunicaciones.

Respuesta en Frecuencia La respuesta en frecuencia de un filtro define que frecuencia será pasada y cuál será atenuada. Los componentes que determinan las características de respuesta en frecuencia de un filtro comprenden la banda de paso, la banda de corte, la banda de transición, y la banda de alto.

Banda de Paso Este es uno de los más importantes criterios del filtro. La banda de paso define que frecuencia pasará a través del filtro y que frecuencia será discriminada en contra (atenuada). La banda de paso es definida normalmente como el área del filtro que experimenta el más bajo nivel de atenuación, idealmente 0 dB, y tiene una característica de pico de bajo nivel.

Frecuencia de corte Esta es la frecuencia donde la banda de paso está en 3 dB de atenuación, o algo más al final de la banda de paso descada.

Banda de Transición. Esta es la porción de la respuesta del filtro que está entre la frecuencia de corte y la frecuencia de alto. Esta es la parte de la respuesta del filtro donde ocurre el cambio de atenuación más grande.

Límite de la banda de alto Esta es la más alta frecuencia f , en donde ocurre el rizo de la banda de paso. El límite de la banda de alto es también el punto de transición donde un incremento pequeño en frecuencia da un gran incremento de atenuación. El receptor frontal termina usualmente la atenuación de banda de alto, operando sobre las frecuencias superior e inferior. Para un transmisor la frecuencia de la banda de alto es normalmente especificada.

Pérdida de inserción. La pérdida de inserción o atenuación en la banda de paso es importante, dado que esta define qué pérdida generará el filtro sobre la señal, al pasar esta por el filtro. Idealmente la pérdida de inserción a través del filtro debería ser igual a 0 dB. Sin embargo, un filtro pasivo tendrá pérdida de inserción, la cual también equivale a la figura de ruido del filtro.

Además, para la pérdida de inserción hay también un factor llamado pérdida de ganancia, el cual hace crecer la parte de pérdida de inserción que el filtro coloca en la señal. El error de ganancia es la diferencia entre la ganancia de la banda de paso actual y la especificada (pérdida de inserción). Para un filtro típico el error de ganancia puede ser tan alto como unas pocas unidades de porcentaje. Este valor puede ser referenciado a muchas cosas incluyendo las frecuencias debajo de la frecuencia de corte para un filtro paso bajas o la banda de paso completa. Esto puede incluso, referirse a la parte de la banda supresora del filtro. Sin embargo, normalmente se refiere a la banda de paso completa.

Rizo de la banda de paso. El rizo de la banda de paso es la variación en ganancia (pérdida de inserción) sobre la banda de paso, también referida como la variación en banda de la señal. La gráfica de la ganancia contra la respuesta en frecuencia del filtro muestra un rizo a través de la banda de paso en lugar de una respuesta plana. Típicamente un filtro tendrá de 1 a 2 por ciento de rizo sobre la mayoría de las bandas de paso de los filtros.

Base de atenuación Este es el nivel más alto de atenuación para los filtros en la frecuencia superior.

Factor de forma El factor de forma para un filtro es una medida de la pendiente de la atenuación del filtro para la banda de transición. El factor de la pendiente incrementará en valor conforme se incrementa el número de polos y/o ceros, o mejor dicho, como el orden del filtro incrementa, como se muestra en la ecuación 5.6.

$$SI = f/f_c \quad (5.6)$$

Idealmente el factor de la pendiente debe ser la unidad, esto es, $SI = 1$.

Error de fase. El error de fase, es también conocido como linealidad de fase. Esto es la linealidad del desplazamiento de la fase contra la frecuencia. Si no hay error de fase, la línea que muestra la linealidad de la fase, debe ser una línea recta. Si no hay error de fase, no hay retraso de grupo, desde que la derivada de una constante es 0 y el retraso de grupo es la derivada del error de fase.

Retraso de grupo El retraso de grupo está definido como el retraso de tiempo a través de un filtro para una longitud finita de tiempo para un pulso. Idealmente el retraso de grupo para un filtro debe ser constante a través de la banda de paso completa del filtro. Un retraso de grupo, el cual no es constante a través de la banda de paso puede causar sobrepaso o resonancia en la banda de paso por sí misma.

Selectividad Q. La selectividad del filtro es otro atributo clave para el filtro. La más alta selectividad del filtro es mejor si rechaza la señal no deseada que comienza a pasar a través del filtro, no atenuada. Idealmente el filtro debe ser extremadamente selectivo y permitir solo las señales deseadas, a través de las señales sin distorsión. La Q de un filtro se define como la relación entre la frecuencia central y el ancho de banda del filtro.

Estabilidad contra la temperatura. El filtro debe ser definido en términos de su tolerancia en partes por millón, por grado del cambio de temperatura, ppm/°C. Idealmente, un filtro debe contener sus características sobre el rango de temperatura al que estará sujeto, pero debido a que el filtro es construido de varios componentes varían sus dimensiones físicas con la temperatura, el cambio para una variación en la respuesta en frecuencia para el filtro es grande. La técnica comúnmente empleada, en el proceso de construcción del filtro es utilizar materiales que compensen cada cambio extra en las características físicas, como los cambios de temperatura.

5.2.5 Selección de Filtros

El éxito o fracaso de un sistema de comunicación que opera en presencia de ruido, ya sea hecho artificial o térmicamente, es mejorado con la selección correcta de los filtros en su diseño. Los filtros en un sistema de comunicación existen en la parte transmisora y receptora. El objetivo de los filtros en la transmisión de los sitios de celda es suprimir las emisiones que vienen del modulador, que están más adelante del amplificador. Las señales no deseadas necesitan supresores, que reduzcan las transmisiones de emisiones dentro de la banda receptora de su sistema u otro sistema operado. Los filtros receptores en el sitio de celda, pretenden prevenir la recepción de sobrecarga, suprimir a los productos de intermodulación de tercer orden (IMP, por sus siglas en inglés *Intermodulation Products*), debajo de la base de ruido recibido, y mejorar la selectividad de los sitios de celda.

5.2.6 Requerimientos del Sistema de Comunicación

Los requerimientos del filtro para un sitio de comunicación deben ser suficientes para asegurar el alcance de la máxima sensibilidad y selectividad para el sistema. La selectividad debe ser suficiente para pasar la señal deseada y rechazar la señal no deseada. Además, la sensibilidad debe siempre ser liberada de acuerdo con los requerimientos de filtro, del sitio de comunicación. Hay muchas formas para eliminar las señales no deseadas de un sistema, pero muchos de esos métodos incrementan la atenuación de las señales deseadas en la banda de paso.

El filtro transmisor de un sitio de comunicación debe asegurar que la transmisión de emisiones se queden dentro de la norma definida por el organismo regulador en cada país.

El filtro receptor de un sitio de comunicación debe asegurar que el receptor está protegido de interferencia adyacente y fuera de banda, sobrecarga y supresión de ruido

5.2.6.1 Tamaño

Las características físicas del filtro necesitan ser fabricadas dentro del proceso de selección. La situación donde estará montado físicamente debe ser tomado en cuenta. Por ejemplo, si el filtro es parte de un amplificador superior en una torre que está localizada inmediatamente después de la antena, el tamaño, el peso y las características de montaje, necesitan ser considerados en la fabricación. También el tipo de montaje necesario podría agregar un peso no correcto y el viento cargará a la torre, basado en la ubicación y el número de unidades.

5.2.6.2 Costo

El costo del filtro necesita ser contemplado en el diseño. Si el filtro seleccionado para una determinada situación, es el mejor filtro y se acerca al filtro ideal, esto será una situación ideal de un aspecto puro de diseño, pero el costo asociado con él, sería ahora un componente mayor en el costo de la infraestructura del sitio de celda.

5.2.6.3 Nueva Tecnología

La proliferación de los sistemas inalámbricos en el mercado, implica el aislar un sistema de comunicaciones de otro. Sin embargo, la creciente demanda de las comunicaciones inalámbricas, implica que se incrementa también el uso de las facilidades inalámbricas existentes para múltiples usuarios. El incremento en las comunicaciones inalámbricas tiene un resultado directo en incrementar los niveles de interferencia. Las nuevas tecnologías que emergen en las comunidades inalámbricas, tienen que asegurar la habilidad de rechazar todas las señales no deseadas, al mismo tiempo que mejoren las señales existentes. Dos tipos de tecnologías de filtros están comenzando a seguirse, y comprenden filtros superconductores (cintas gruesas y delgadas) y filtros adaptativos.

5.2.6.4.1 Superconductores

Con el descubrimiento de los filtros superconductores de altas temperaturas, se tiende a mejorar los filtros ideales para un sistema de comunicaciones que pueden comenzar a realizarse, el filtro ideal comienza a no tener pérdida en la banda de paso ni pérdidas infinitas en cualquier otro lugar. Los superconductores de alta temperatura ofrecen la habilidad para tener filtros que obtengan un número cercano al infinito de polos con ninguna pérdida, virtualmente. Los filtros pueden ser realizados utilizando sistemas de enfriamiento existentes desde la temperatura ideal para superconductores de alta temperatura que es alrededor de 77 grados Kelvin. Generalmente los esfuerzos de los superconductores se centran en dos campos, las cintas gruesas y las delgadas. Cada una tiene sus ventajas y desventajas. Los filtros superconductores de cinta gruesa tienen la habilidad de manejar más potencia y tienen mejores especificaciones de intermodulación. Los esfuerzos son generalmente para minimizar el tamaño de los filtros de cinta gruesa, que pueden emplearse en una micro estación base. Los superconductores de cinta delgada, aún cuando no son capaces de manejar mucha potencia, disfrutan de sus ventajas físicas. La tecnología de cinta delgada se presta para aplicaciones móviles y micro estaciones base.

5.2.6.4.2 Filtros adaptativos

Un filtro adaptativo es la implementación práctica de un filtro ideal con la excepción de que se ajustan a la condición de cambio de la señal. La habilidad de los filtros adaptativos para ajustar su respuesta lo hace un candidato ideal para el rechazo de interferencia, ecualización, cancelación de eco y ruido, y muchas otras aplicaciones. Para un sistema de espectro esparcido la capacidad del sistema está limitada a la interferencia mutua entre el abonado planeado y el no planeado. La implementación de un filtro adaptativo para un ambiente de reuso fuerte tiene el potencial para incrementar la capacidad en la red, por medio de la supresión de la señal no deseada, o más aún, de bloquearla. El filtro adaptativo puede no esparcir la señal bloqueada a través de su ganancia procesada. La implementación de los filtros adaptativos puede también ser usado para separar las señales no deseadas, mediante la anulación de ellas, haciendo que lleguen en diferente tiempo que la señal deseada. Cuando se usa un filtro adaptativo para eliminar la interferencia, debe tomarse en cuenta lo siguiente.

- 1 La respuesta deseada de la señal que se procesa a través del filtro adaptativo debe ser conocida
- 2 La implementación del filtro debe ser físicamente realizable y debe trabajar en tiempo real.

5.3 Transmisores

Existen tres formas basicas de los transmisores en las radio-comunicaciones, sus diagramas de bloques se muestran en las Figuras 5 18, 5 19 y 5 20

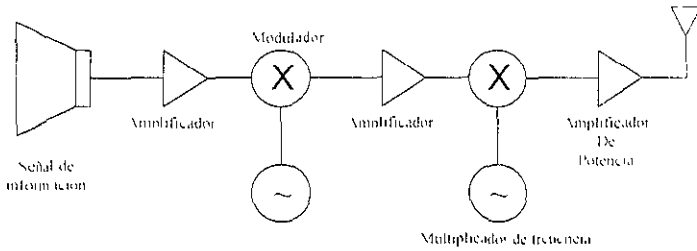


Figura 5.18 Transmisor de AM

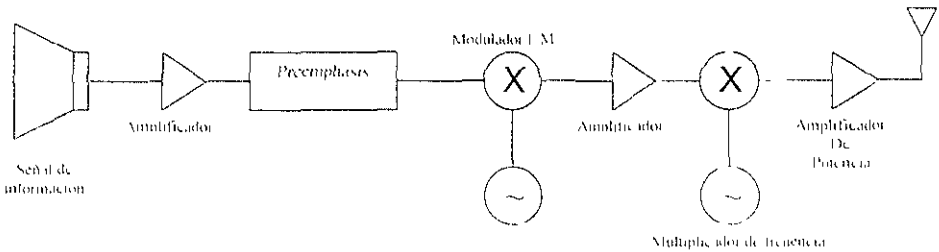


Figura 5.19 Transmisor de FM

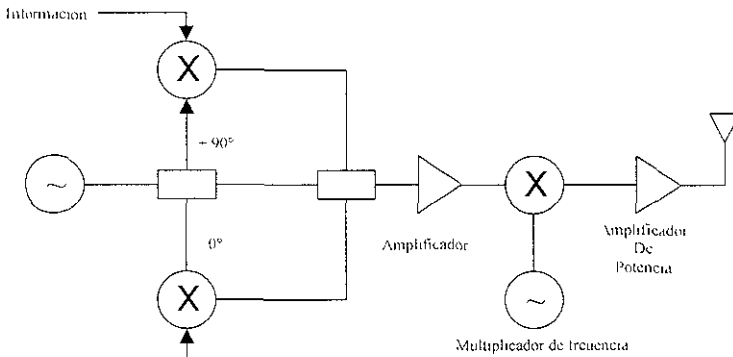


Figura 5.20 Transmisor de P M

5.3.1 Tipos y clases de amplificadores

Existen muchos tipos y clasificaciones de los amplificadores. Ver Tabla 5.2 cada uno presenta ventajas y desventajas. El tipo de amplificador que se seleccione necesita cumplir con los requerimientos de diseño, tener la máxima potencia a la salida mientras se consume tan poca como sea posible, y al mismo tiempo permitir la modulación deseada sin distorsión sobre la frecuencia y sobre el rango de operación de la potencia.

Clase de Amplificador	Rango de conducción de una onda senoidal	Linealidad con respecto a la función de transferencia del AMP.	Potencia de salida	Aplicaciones
A	360°	Alta, siempre y cuando no se sature el amplificador.	Baja	Diseños que requieran gran linealidad, generalmente con sistemas A.M
B	180°	Presenta distorsiones por crossover.	$> A$	Debido a dicha distorsión, generalmente no se emplea en R.F.
AB		Es una mezcla de los de clase A y B, por lo que no es tan lineal, pero tampoco presenta tanta distorsión	$> A, < B$	Gracias a la combinación de las características de los amplificadores A y B, cada día se emplea más en aplicaciones inalámbricas. Se utiliza cuando solo se requiere un transmisor.
C	180°	Distorsiona la señal, pero esto no afecta si se aplica en F.M. o P.M	Mayor a los anteriores	Se emplea mucho en las comunicaciones inalámbricas.

Clase de Amplificador	Rango de conducción de una onda senoidal	Linealidad con respecto a la función de transferencia del AMP.	Potencia de salida	Aplicaciones
Feed-forward		Muy buena		Este amplificador elimina las señales indeseadas, y se utiliza para amplificar múltiples canales de RF. Con él se requiere de menor potencia para amplificar lo mismo que otros métodos. Su desventaja es la complejidad.

Tabla 5.2 Clases de Amplificadores

5.3.2 Aisladores

Un aislador dentro de un sistema de comunicaciones puede tener muchas funciones. Un aislador es un dispositivo que conduce la energía de RF en una sola dirección y rechaza o atenúa sustancialmente la energía en la dirección contraria. El aislador se coloca normalmente entre el transmisor y el sistema de antenas, como un método de proteger el transmisor. En este caso, el aislador se encarga de aislar el transmisor de la antena y minimiza los productos de intermodulación que se pudieran generar. El aislador también actúa como una carga balanceada para el transmisor, asegurando con ello una transferencia máxima de potencia al sistema de antenas.

El aislador es un dispositivo de tres puertos que consiste de un circulador (o girador) y una carga (generalmente de 50Ω). El circulador toma las ventajas del campo magnético y de la polarización que se genera debida a su posición en el dispositivo.

Los puntos importantes al seleccionar un aislador son:

- ✓ Rango de potencia.
- ✓ Requerimientos de aislamiento.
- ✓ Temperatura ambiente y calor generado de la aplicación.
- ✓ La Potencia reflejada en el peor de los casos en la salida del puerto del aislador.

5.3.3 Técnicas de combinación

Desde un punto de vista ideal debería existir una antena diferente para cada frecuencia transmitida y recibida. Pero en la realidad existen sistemas en celulares y PCS en que siguiendo ese criterio el número de antenas requerido sería increíble. Es por ello que se requiere maximizar la eficiencia de un sitio de comunicaciones. Dicha maximización se hace a través de reducir el número de antenas que se requiere para un sitio de comunicaciones. Para ello existen diversas técnicas de combinación.

5.3.3.1 Combinación con cavidades

Las cavidades o resonadores se utilizan en un sistema de comunicaciones para proveer el aislamiento del transmisor. Aseguran una pureza espectral y facilitan la combinación de múltiples portadoras dentro de un solo sistema de antenas.

Una cavidad es un circuito tanque LC el cual resuena a una determinada frecuencia. Por lo tanto una cavidad con una mayor Q será más selectiva.

Se deben seguir algunas reglas simples dependiendo de la tecnología, del formato de modulación empleado y del ancho de banda ocupado por el sistema. Dichas reglas se refieren al espaciamiento mínimo entre canales que se permite para el grupo de canales a combinar, por ejemplo para AMPS es de 630 KHz, para TACS 600 KHz y para GSM 600 KHz

5.3.3.2 Combinadores Híbridos

Los combinadores híbridos se utilizan en muchas partes en un sistema de comunicaciones, el lugar más común donde se emplean es en la ruta de transmisión del sistema de radio. El propósito de un combinador híbrido es el mezclar diferentes frecuencias discretas provenientes de dos o más canales de transmisión en uno solo.

Algunas veces se emplea para combinar señales cuando el aislamiento entre los canales de frecuencia no es suficiente para asegurar la adecuada operación del transmisor. Otro uso es para combinar varias señales a un bajo nivel de energía para su posterior amplificación con un amplificador lineal.

5.3.3.3 Duplexores

El duplexor permite a una sola antena ser utilizada por las partes transmisora y receptora del sistema de comunicaciones. Es una combinación de un filtro en la transmisión y otro en la recepción que trabajan juntos dentro un dispositivo.

5.3.3.4 Acoplador "Crossband" (Cruzador de Bandas)

Se utiliza en lugares donde se requiere combinar múltiples bandas dentro de un solo sistema. El uso de este acoplador en este caso se realiza con un mínimo de pérdidas por inserción. Uno de los más comerciales es el que combina las bandas VIII y UHF.

Es un dispositivo que permite que varios sistemas de comunicación compartan la misma plataforma.

5.3.4 Relación de Onda Estacionaria (SWR – Standing Wave Ratio)

Para asegurar la operación adecuada del transmisor dentro del sistema de comunicaciones, es importante entregar la máxima potencia al sistema de antenas, para ello se requiere un bajo SWR, lo que significa que muy poca energía se reflejara al transmisor. Idealmente no se debería tener reflexión.

$$SWR = \frac{R_L}{Z_0} \quad (5.7)$$

Donde

R_L Es la resistencia de carga (generalmente de la antena)
 Z_0 Es la impedancia de la línea de transmisión

Un SWR de 1 representa un perfecto acoplamiento y por ende una máxima transferencia de potencia.

Otros parámetros importantes y que se derivan del SWR son.

- ✓ Coeficiente de reflexión Mide la cantidad de energía que se refleja, se calcula de la siguiente forma:

$$p = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \quad (5.8)$$

- ✓ Porcentaje de potencia reflejada. Es igual al cuadrado del coeficiente de transmisión (5.9)

- ✓ Pérdidas por retorno = $10 \log_{10}(p^2)$ (5.10)

5.3.5 Potencia efectiva radiada y Potencia isotrópicamente radiada (ERP –Effective radiated power- y EIRP –Effetive isotropic radiated power-)

Son las dos referencias generalmente ocupadas para determinar la potencia de transmisión de un sitio de comunicaciones. El ERP y EIRP se relacionan directamente uno con otro a través de la relación $ERP = EIRP - 2.14 \text{ dB}$

A continuación se presenta un ejemplo

Transmisor	-42.75 dBm
Aislador	- 0.25 dB
Filtro	- 1.0 dB
Pérdidas en la línea	- 1.5 dB
Ganancia de la antena	+ 10 dBd
ERP =	+ 50 dBm = 100 W
EIRP (PIRC) =	+ 52.14 dBm = 165 W

5.4 Receptores

En un sistema malambriico de información, los sistemas de recepción y transmisión son elementos cruciales dentro de la red. El trabajo específico del sistema de recepción es el extraer de una gama de portadoras y de ruido la señal deseada. En la figura 5.21 se muestra una configuración de bloques de las etapas del receptor

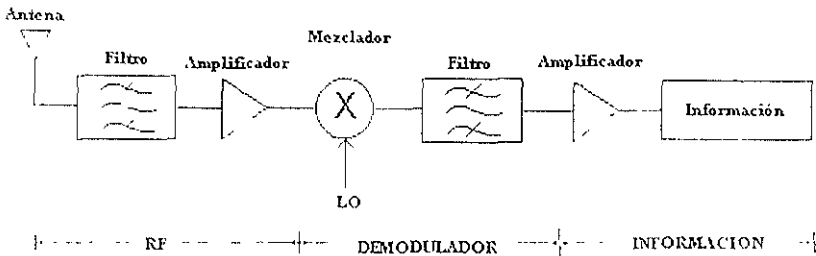


Figura 5.21 Diagrama de bloques de un receptor de radio

Existen muchos tipos de receptores que se utilizan en los sistemas inalámbricos de comunicaciones. Uno de los métodos más eficientes de selección del sistema de recepción se basa en seleccionar el receptor de acuerdo al contenido de la información que se desea recibir, esto no solo involucra eficiencia económica sino también espectral.

Los mejores indicadores eléctricos y de costos para un receptor típicamente son:

- 1 Rango de frecuencias
- 2 Rango dinámico
- 3 Ruido de fase
- 4 Resolución de sintonización
- 5 Velocidad de sintonización
- 6 Sensibilidad
- 7 Distorsión (fase y ganancia)
- 8 Ruido
9. Otros

El diseño del receptor debe incorporar los criterios deseados de desempeño y al mismo tiempo minimizar el número de etapas entre las porciones de FI y RF del sistema de recepción, el cual es dependiente del esquema de modulación seleccionado.

El contenido de la información que se desea enviar y recibir es un punto muy importante para la selección del tipo de modulación a utilizar. Un aspecto muy importante es el ancho de banda que se necesita en comparación con el espectro disponible. Debido a que el espectro es limitado, se necesitan de métodos para determinar el esquema de modulación utilizado con el fin maximizar el uso del espectro y aprovechar al máximo el costo.

En general hay tres tipos de receptores tanto para señales digitales y analógicas. Estos tipos de receptores son los que involucran modulación en amplitud (AM), modulación en frecuencia (FM), y modulación en fase (PM). En algunos casos se utilizan combinaciones de estos. Mediante la manipulación de la ecuación 5.11 se puede obtener cada una de estas modulaciones.

$$I(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi) \quad (5.11)$$

- Donde:
- A = amplitud
 - f_c = frecuencia de la portadora
 - ϕ = fase
 - t = tiempo
 - I = magnitud instantánea del campo eléctrico

5.4.1 Modulación en amplitud (AM)

Los sistemas de recepción de amplitud modulada es uno de los más básicos en un sistema de radio. Hay muchas variantes, dentro de las cuales el método más básico y fácil de construir consta de un detector de envolvente.

A pesar de que el receptor de AM es extremadamente fácil de producir y de muy bajo costo para el usuario, AM no es tan eficiente en el espectro como lo es FM o PM. En AM la onda modulada consiste de una onda portadora cuya frecuencia es igual a la suma y la diferencia de la frecuencia de la portadora y la frecuencia de modulación. Pero una desventaja es que AM es susceptible al ruido.

Con el simple uso de un filtro se puede determinar la frecuencia específica que se va a recibir y demodular.

Otro tipo de receptor AM es el receptor SSB (single sideband), el cual envuelve la modulación y demodulación en AM, pero SSB tiene una mejor eficiencia tanto en potencia como en el espectro. La configuración de un receptor USD y un LSB funcionalmente es la misma que la de un receptor SSB con la diferencia que los filtros paso bajas o paso altas, son utilizados en las etapas de frecuencia intermedia (FI). AM puede tener como información tanto a voz como datos.

5.4.2 Modulación en frecuencia (FM)

La modulación FM es comúnmente usada, se utiliza en sistemas celulares y se le asocia a comunicaciones analógicas. El uso de FM permite una mayor inmunidad al ruido, pero esto involucra receptores más caros y complejos.

La técnica de demodulación en FM más común es la recepción superheterodina de FM. Esencialmente se utilizan dos convertidores de bajada para obtener el contenido de la información deseado, esto provee una excelente sensibilidad y selectividad para el sistema de radio.

Dentro de los sistemas que utilizan FM para transportar la información son AMPS, TACS, N-AMPS, SMR, y varios sistemas de comunicaciones de dos vías. En los sistemas FM el ancho de banda disponible y el contenido de información juegan un papel importante en los costos del sistema.

Los radios de FM pueden demodular tanto voz como datos o ambos dependiendo del tipo de información que se envíe.

5.4.3 Modulación en fase (PM)

Los receptores PM ofrecen muchas ventajas sobre los receptores puros de AM o FM. Específicamente el receptor PM es capaz de ser más eficiente en el uso del espectro debido a su método de demodulación.

Las señales de fase entrante y cuadratura se extraen desde la misma señal recibida que entra en el sistema de antena del receptor. Las porciones de fase entrante y cuadratura son separadas al mezclar la señal con la misma frecuencia del oscilador local pero cambiada 90° . Tanto las porciones de fase entrante y de cuadratura de la señal son enviadas para procesamientos adicionales. Sin embargo, la capacidad para demodular la señal PM es con base en la capacidad del receptor para separar adecuadamente las porciones de fase entrante y de cuadratura de la señal.

Cuando el receptor tiene dificultades al diferenciar las porciones de fase entrante y de cuadratura de la señal, ocurren errores (BER) y alguna parte o todo el contenido de la información puede ser perdido o puede estar corrupto.

5.4.4 Diagrama de bloques

Si se analiza la parte de recepción en un diagrama de bloques, se observaría una configuración que no varía para ninguno de los diferentes casos que se pueden tener dada la modulación que se escoja

Este diagrama estaría dividido por bloques en la siguiente forma y en el siguiente orden:

- ✓ Antena
- ✓ Línea de alimentación
- ✓ Filtros
- ✓ Preamplificador
- ✓ Acoplador múltiple
- ✓ Receptor

5.4.4.1 Sistema de antena

Esta es la primera etapa en la ruta de recepción. El propósito de la antena es el acoplar y transformar la energía electromagnética que recibe de la atmósfera y transferirla a las líneas de alimentación al sitio de comunicación

5.4.4.2 Líneas de alimentación

Estas se encargan de conectar físicamente a la antena con el resto del sistema de recepción. Por lo general están comprendidas de cables y puentes que conectan a la antena con los filtros de recepción. Esta etapa es muy importante, tiene un papel que determina directamente en que tan bien va a operar el sistema de recepción. En las líneas de alimentación se cuidan las calidades de los cables y de los conectores a usar, así como el manejo de los cables en dado caso de algún mantenimiento. Los acoplamientos también son un punto muy importante a considerar

5.4.4.3 Filtros

Esta etapa es muy importante dentro de un sistema de recepción. Normalmente muchos filtros son empleados y en diferentes puntos de la ruta de recepción, estos tienen la finalidad de dejar pasar solo la o las frecuencias de interés y eliminar todo lo demás que puede ser ruido o simplemente una señal no deseada, esto sin atenuar la señal seleccionada, y por esto, dentro del desempeño del sistema los filtros juegan un gran papel

5.4.4.4 Preamplificador

Estos son los primeros componentes activos dentro de la ruta de recepción, y su tarea principal es el incrementar la relación señal a ruido de la señal recibida. El preamplificador recibe la señal deseada en un nivel muy bajo de la etapa anterior, pero si en esta etapa se introduce o se genera alguna perturbación o ruido sufriría un decremento de la misma forma que la señal deseada. Por esta razón el desempeño de la célula receptora depende directamente del desempeño de esta etapa

Los preamplificadores deben tener la suficiente potencia para entregarla al receptor, pero de igual forma se debe estar consciente que mucha potencia puede producir productos de intermodulación

5.4.4.5 Acoplador múltiple

El acoplador múltiple es un dispositivo el cual asegura que las señales recibidas sean enrutadas a los receptores apropiados. Generalmente estos dispositivos tienen varias etapas de división de señal y generalmente incluyen una etapa de preamplificación, en el caso en que no la incluya, solo contenga combinaciones divisoras de señal en RF. La función principal del acoplador múltiple es el ahorrar el número de antenas y líneas de alimentación requeridos para un sitio celular. Así muchos radios pueden compartir la misma antena y la misma línea de alimentación.

5.4.4.6 Receptor de radio

Se puede definir al receptor de radio como un dispositivo físico que convierte la energía de RF en una forma utilizable. El receptor de radio puede tener de una a múltiples rutas de recepción conectadas a él. Generalmente dos rutas son conectadas al radio receptor en un sitio celular y solo una ruta para una unidad móvil o portable.

El radio receptor recibe la energía de RF del acoplador múltiple, la cual entra al radio a través de un cable de baja pérdida. La energía de RF sigue a través de un filtro para una selectividad adicional y después es amplificada por una ganancia adicional. Posterior a esto la energía de RF viaja a un mezclador el cual da las características a la señal para que pueda convertirse a una señal con una frecuencia intermedia (FI). Así la señal en frecuencia intermedia es filtrada y amplificada en ganancia.

La señal en FI posteriormente pasa por otro mezclador y por otro filtro los cuales sitúan la señal de FI a una frecuencia baja.

El receptor de radio tiene los siguiente bloques importantes:

Filtros. Los filtros en un receptor juegan varias tareas importantes. El primer objetivo es el mejorar la selectividad del radio a través de un filtro que elimine la energía no deseada que se le haya permitido pasar y generarse a lo largo de la ruta de recepción. El segundo y el más importante, es el proteger el amplificador en el radio de la saturación y la sobrecarga debido a las emisiones fuera de banda que puedan ocurrir.

Estos filtros son paso banda y generalmente operan en todo el espectro radio eléctrico dentro de un sistema celular.

Preamplificador. La tarea de este elemento en la ruta de recepción del radio receptor es el ayudar a mejorar la figura de ruido y la sensibilidad del mismo radio. Además de mejorar alguna pérdida que haya sufrido la señal proveniente del mezclador o de los filtros.

Mezclador (conversión de bajada). El mezclador receptor tiene un papel crítico en el convertir el espectro de RF entrante conteniendo la información contenida dentro de una señal FI de salida idealmente sin adicionar ruido o productos de intermodulación a lo largo de todo el camino.

Un mezclador generalmente tiene tres puertos y es un componente vital en los procesos de conversión de subida o bajada de la información a otra frecuencia.

En la mayoría de los receptores se llevan a cabo dos conversiones de frecuencias. La primera envuelve una reducción de la señal inicial de RF a un nivel que pueda ser procesada de una mejor manera en el receptor. Esto es completado al convertir la señal de RF a una frecuencia intermedia.

(FI) y después mezclarla nuevamente para reducirla a un segundo nivel de FI. La finalidad de este método es el mejorar el desempeño del receptor.

El mezclador tiene muchos elementos claves para el mejoramiento que se necesita obtener, con el fin de asegurar que su desempeño en la ruta de recepción no cause algún desperfecto a la señal inicial. El criterio de desempeño involucra pérdidas por conversión (CL), figura de ruido (NF), nivel de saturación (SL), figura de frecuencia (IMF), y rango dinámico.

El rango dinámico del mezclador es muy importante ya que determina el rango efectivo de operación en términos de la señal en la que el mezclador es capaz de operar. El rango dinámico para el mezclador es normalmente limitado en el límite inferior, por su figura de ruido y por el ancho de banda de recepción.

Etapa FI. La etapa intermedia (FI) del receptor normalmente es seguida de una conversión de bajada adicional así la segunda frecuencia intermedia está a una menor frecuencia para facilitar el postproceso. La mayor parte de la amplificación en un receptor toma lugar en el nivel de FI y por esto la etapa de IF es una parte importante de un receptor. La etapa FI puede tomar varias variantes que dependen de la tecnología seleccionada. Sin embargo, la premisa básica es la misma en la que la señal está en un rango más inferior de frecuencias donde puede ser post-procesada más fácilmente. Los varios criterios importantes definen el proceso. La selectividad y el rechazo de imágenes, son dos figuras importantes de mérito.

La selectividad de FI es una de las especificaciones más importantes para un receptor. Para prevenir interferencia entre canales en el receptor, la selectividad de FI es usada para obtener la proyección de interferencia necesaria. La selectividad de una sección FI es una medida de la respuesta total de toda la etapa de FI. La selectividad de un receptor debe ser suficiente para permitir que la señal modulada deseada sea amplificada uniformemente a través de la banda deseada pero eliminando toda la energía no deseada. La selectividad de un receptor es normalmente definida como Q.

El rechazo de imagen es una especificación indeseable de señal, comúnmente una especificación de filtro, y es el nivel en dB entre la señal deseada y el poder de señal de imagen. Es medido al aplicar una señal que es una frecuencia de imagen y aumentar su fortaleza de señal hasta que se detecte. Entonces la señal deseada es aplicada hasta que es detectada. La diferencia es el nivel de rechazo.

$$\text{Donde} \quad \text{Rechazo de imágenes} = p_{\text{recibida}} - p_{\text{imagen detectada}} \quad (5.12)$$

$$p_{\text{recibida}} - p_{\text{deseada}} - p_{\text{imagen despues de filtrada}}$$

La etapa de audio, es donde el contenido inicial de información se extrae y es utilizado por el terminal o el usuario al final del nexo de comunicación. La etapa de audio es donde la señal se demodula eventualmente y se transforma en la información. La demodulación de la señal es dependiente del contenido de información y de la modulación deseada para el sistema.

CAPITULO VI

SELECCIÓN DE SITIOS

6. Selección de Sitios

Un sitio o estación base es la localidad física donde está el equipo de radio para recibir, transmitir o ambos. En las comunicaciones de radio frecuencia de los sistemas celular y PCS, hay una gran variedad de configuraciones de sitios de comunicación. Hay diferentes sitios celulares, micro, macro y pico celular. Un sitio de comunicación se puede componer como lo muestra la figura 6.1

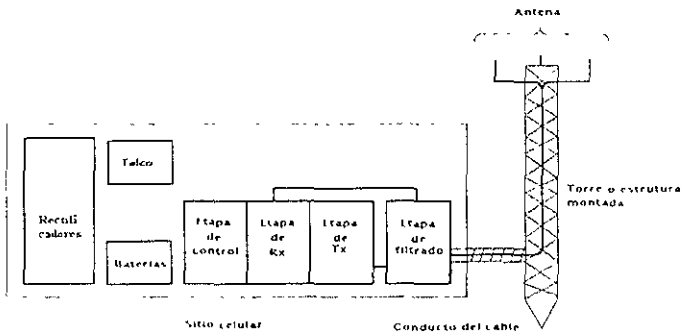


Figura 6.1 Sitio de Comunicación

6.1 Macro célula

Lo que define a una macro célula es principalmente el área de cobertura para la cual la célula es diseñada. Actualmente con el advenimiento de PCS este tipo se considera como algo pasado, sin embargo, muchos sitios PCS tienen las características de una macro célula. Una macrocélula es lo que se esperaría ver para un sitio de comunicaciones celular

Las múltiples configuraciones de los sitios de comunicaciones son asociadas con cada tipo de plataforma tecnológica seleccionada para un sistema de comunicaciones. Ya sea, AMPS, TACS, GSM, CDMA, y NADC, entre otros, todos estos pueden ser configurados tanto como una célula omnidireccional, bidireccional, o de tres sectores dependiendo de las aplicaciones que maneje

6.1.1 Omnidireccional

Para un sitio omni hay muchos métodos de instalación que pueden ser utilizados para la instalación de antenas. El primero es la simple instalación de un monopolo. La antena de transmisión está localizada en la parte más alta de la estructura con las antenas de recepción localizadas debajo de la plataforma (ver la figura 6.2). La distancia de separación entre las antenas de recepción debe seguir los requerimientos de separación de la red, dada por la ecuación 6.1

$$d = h * 1.3 \text{ [ft]} \quad (6.1)$$

Hay otras variantes en las que se cambian las posiciones de las antenas o se utiliza algún duplexer

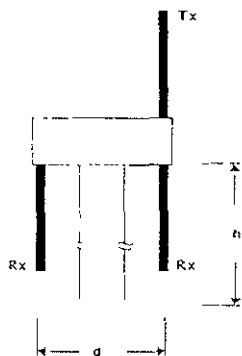


Figura 6.2 Instalación para un sitio Omnidireccional en un monopolo

6.1.2 Sitios direccionales

Los sitios direccionales comúnmente son usados para locaciones cercanas a los bordes del sistema o cuando no se desea dar cobertura a una determinada área. Por ejemplo, la cobertura puede desearse a lo largo de una sola trayectoria y no en ninguna otra parte (probablemente si se desea cubrir una porción recta de alguna autopista). En este caso el uso de un sitio direccional puede ser directamente aplicado

Otra aplicación para el sitio direccional es cuando se está en el borde del sistema, y no se desea el traslape con otro carrier o proveedor del servicio. El punto aquí es determinar la superposición física que se permite en el sistema. Esto es más un punto de negocio que un punto técnico. Para este ejemplo se presume que algún nivel de la superposición de extensión se permite pero no lo suficiente para que un sitio omnidireccional garantice el nivel de potencia deseado.

6.1.3 Tres sectores

El sitio celular de tres sectores es una de las configuraciones para sitios celulares más populares utilizados en la industria inalámbrica. Estas células tienen sectores que cubren 120° cada uno, así teniendo tres sectores se tiene un círculo completo, como se puede observar en la figura 6.3. Hay una gran variedad de combinaciones para transmitir y recibir que pueden ser usados para establecer un sitio celular de tres sectores.

El número de antenas puede reducirse con la utilización de duplexores (uno por cada sector).

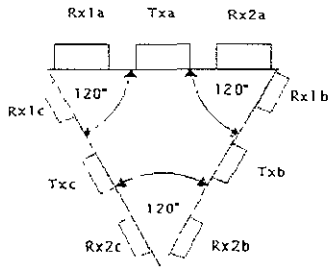


Figura 6.3 Arreglo de un sitio de tres sectores

6.1.4 Seis sectores

El sitio celular de seis sectores se despliega en una situación donde el patrón de reuso $N = 4$ se despliega para planificar frecuencias. El uso de un sitio celular de seis sectores aumenta el número disponible de erlangs por kilómetro o milla cuadrada, es decir aumenta la capacidad de tráfico que se pueda manejar (ver figuras 6.4 y 6.5).

Se puede manejar una sola antena de transmisión por sector o incluso dos si así es requerido, y también se pueden emplear duplexores.

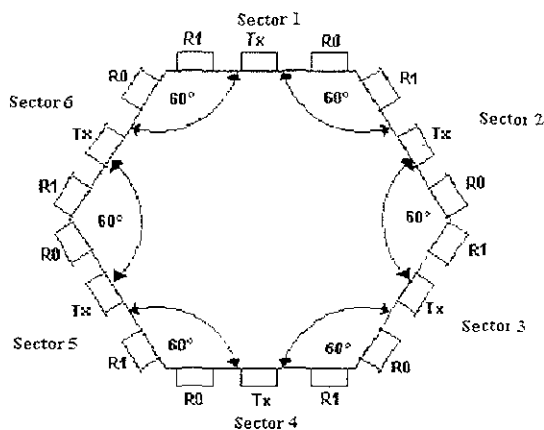


Figura 6.4 Configuración de un sitio de seis sectores

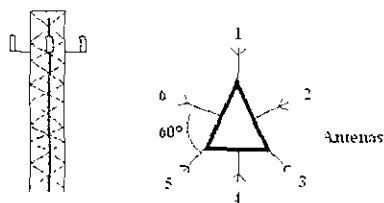


Figura 6.5 Vista lateral y superior de una configuración de seis sectores

6.2 Microcélulas

Las microcélulas en los sistemas celulares son la solución inicial para reducir la huella de cobertura de una macrocélula. Esto es necesario cuando se requiere una reducción del área geográfica que cada célula cubre y se utiliza para facilitar el reuso de frecuencias en una red.

Las microcélulas se emplean también para proveer cobertura en edificios, sistemas subterráneos y en túneles.

Las plataformas tecnológicas tienden a llamar microcélulas a los sistemas de comunicación con un radio menor a medio kilómetro.

Existen muchas plataformas tecnológicas caen dentro de la categoría general llamada microcélulas.

- a) Microcélula alimentada por fibra
- b) Microcélula 11
- c) Microcélula de microondas
- d) Repetidor de alta potencia
- e) Repetidor de baja potencia
- f) Amplificador bidireccional

6.2.1 Microcélula alimentada por fibra

Pueden ser y son utilizadas en sistemas celulares. La elección de este tipo de microcélula tiene muchas ventajas y desventajas asociados con la plataforma tecnológica (el uso de la fibra), en especial las desventajas están relacionadas con los altos costos de los equipos transmisores y receptores ópticos

6.2.2 Microcélula T1

La microcélula T1 o alimentada por cobre tiene muchas aplicaciones potenciales en el campo del mundo inalámbrico, su principal ventaja es que provee interconexión a bajo costo, su desventaja es que muchas veces el fabricante vende la solución completa y se tendrá que tener cuidado al elegir esta solución pues en ocasiones no trabajará con los equipos de otros proveedores o incluso otros equipos del mismo proveedor, ante ello lo mejor es elegir protocolos para el trabajo entre sistemas, como el IS-41.

6.2.3 Microcélula de microondas

Aunque este método es empleado en la alimentación a macrocélulas, es otro sistema que puede ser la solución donde se tengan problemas con las rutas terrestres, son enlaces punto a punto, las desventajas que presenta radican en la coordinación y uso de las frecuencias, la necesidad de línea de vista y el empleo de una antena adicional para cada microcélula.

6.2.4 Repetidores

En los casos en que se desea extender el área de cobertura, son muy usados los repetidores, este distribuye la capacidad de una célula en otra área, el repetidor puede alterar la distribución de la capacidad de la red, pero no la capacidad de la red, su principal problema radica en que puede agregar interferencia a la red tanto de la base al móvil, como del móvil a la base

Existen tres tipos de repetidores, la elección de alguno de ellos depende de los objetivos de diseño y de las opciones de configuración que se tengan dependiendo de la situación

6.2.4.1 Repetidor de Alta Potencia

En este caso el repetidor utiliza frecuencias diferentes a las de la célula "donante", dichas nuevas frecuencias forman otro canal celular dentro de la banda del operador, en el repetidor se hace el traslado de frecuencias en ambos sentidos, es capaz de transmitir con potencias similares a las de la célula donante. Debido al uso de nuevas frecuencias, será necesario cuidar la coordinación de las cuatro frecuencias de forma tal que no se genere interferencia.

6.2.4.2 Repetidor de Baja Potencia

Es muy similar al de alta potencia, salvo por manejar frecuencias de menor potencia y en que no traslada las frecuencias, debido a esto último es muy importante cuidar la distancia entre las antenas para que se obtenga un aislamiento de alrededor de 70 dBs

6.2.4.3 Repetidor o Amplificador Bidireccional

Funcionalmente es igual que el repetidor de baja potencia, es muy ocupado dentro de edificios para lograr coberturas en estos lugares

6.3 Instalación de una radiobase

Existen muchos elementos que se deben considerar en la instalación de una célula, entre ellos:

6.3.1 Cableado

Se refiere al cable que va desde el sistema de la antena hasta los equipos de la estación base, es muy importante tener cuidado en el momento de diseñar la radio base en decidir cual camino se va a seguir, de lo contrario se podría tener que rodear mucho y con ello alargar la longitud de dicho cable

6.3.2 Montaje de la Antena

A continuación se muestra una lista de los principales puntos que se deben verificar en el montaje de la antena

- 1 Cuantas antenas y de que tipo serán instaladas
- 2 Máxima longitud permitida del cable
- 3 Identificar y ordenar por importancia las posibles obstrucciones que alterarían la cobertura deseada
- 5 Adecuado espaciamiento entre la antena de recepción. Requerimientos de diversidad
- 6 Requerimiento de aislamiento con otros servicios
- 7 Requerimientos de AGL (de tierra) de la antena
- 8 Parámetros de montaje de la antena
- 9 Completar análisis de intermodulación
- 10 Verificar el análisis de línea de vista (en el caso que sea aplicable)

Esta lista puede variar de acuerdo a la situación específica con la que se este trabajando.

6.3.3 Diversidad de espacio

La diversidad en espacio para las antenas se requiere para asegurar un margen de protección de diseño del sistema

$$\text{Diversidad en espacio (f')} = \frac{\text{AGL de la antena}}{11} \times \frac{835}{f} \quad (6.2)$$

6.3.4 Torres

Son tres los tipos más comunes de torres utilizados en las redes inalámbricas: auto-soportadas, arriestradas y monopolo. Cada tipo presenta ventajas y desventajas, las sostenidas por cables o arriestradas requieren una mayor área pero son las más económicas, por su parte las auto-soportadas pueden soportar antenas de varios carriers, pero son las más caras, por su parte las monopolo tienen un precio inferior que el de las autosoportadas y pueden también soportar varias antenas, pero no tantas como las auto-soportadas de la misma altura.

6.4 Interiores

Las microcelulas tienen muchas aplicaciones en interiores. Las aplicaciones incluyen mejoramiento de cobertura para un centro de convenciones, un gran cliente, o un PBX inalámbrico. La propagación de la energía de radiofrecuencia, toma características únicas en una aplicación de edificios comparada con un ambiente en exteriores. La principal diferencia entre las características de propagación para un sistema interior contra un sistema exterior es el desvanecimiento, la dispersión y la interferencia.

Algunas consideraciones deben ser tomadas en cuenta para un diseño de sistema en microcélulas dentro de un edificio:

- 1 La potencia de la estación base al móvil
- 2 La potencia del móvil a la base
- 3 El cálculo de enlace
- 4 El área de cobertura
- 5 El tipo de antenas del sistema y su ubicación
- 6 El Plan de frecuencias.

Para la potencia de la estación base al móvil es necesario tomar consideraciones para asegurar que se obtenga la cobertura deseada. La cobertura deseada puede requerir varios transmisores debido a la potencia de salida disponible en ellos mismos.

La potencia del móvil a la base también necesita ser contemplada dentro del diseño en interiores para que no haya desbalances en las rutas de llamada entrante y saliente, si bien este no es un factor restrictivo generalmente.

El análisis del cálculo de enlace juega un papel importante en determinar la ubicación del sistema de antenas, el alimentador distribuido o disperso y la cantidad de sistemas microcelulares requeridos para conseguir el requerimiento de área de cobertura.

El sistema de antenas seleccionada para la aplicación de interiores está directamente relacionado con la uniformidad de la cobertura y la calidad del sistema. El sistema de antenas principalmente proporciona cobertura LOS (*line-of-site* -línea de vista-) a la mayoría de las áreas deseadas en la definición del área de cobertura. Basado en los requerimientos del cálculo de enlace, el sistema de antenas puede ser o tener elementos pasivos o activos.

Típicamente un sistema de antenas pasivo es un sistema de antenas simple o distribuido o puede también utilizar un sistema coaxial disperso. Un sistema de antenas distribuido puede ser usado para entregar el servicio.

Si el sistema de antenas requiere el uso de dispositivos activos en la ruta de comunicación, el nivel de complejidad incrementa, debido a que los dispositivos activos requieren potencia ac o dc e introducen otros puntos de falla en el sistema de comunicación. Sin embargo, el uso de dispositivos activos en el sistema puede finalmente hacer que el sistema sea efectivo en relación al costo. El dispositivo activo más común en un sistema de antenas de interiores es un amplificador bidireccional.

El plan de frecuencias para un sistema de microcélulas de interiores necesita ser coordinado con una red celular externa. La mayoría de estos sistemas están diseñados para facilitar handoffs entre el sistema y el sistema celular externo. Si el sistema en interiores utiliza una microcélula con su propio canal dedicado asignado para eso, es imperativo que el sistema sea integrado dentro de la red macrocelular.

6.5 Intermodulación.

La intermodulación es la mezcla de dos o más señales que producen una tercera o cuarta frecuencia, la cual no se desea. Todos los sitios celulares producen intermodulación dado que hay más de un canal en el sitio. Por lo tanto el reporte de intermodulación debe ser un requisito para cualquier visita de sitio.

La intermodulación puede ser producida incluso dentro del equipo debido a malos conectores, antenas, o fallas en los sistemas de tierra, pero la mayoría de los problemas son generados en el sistema de antenas del sitio y está dentro del control del operador al arreglarlos.

Para resolver este problema se puede recurrir a la experiencia, pero es más recomendable seguir un procedimiento.

El principal paso es identificar el problema actual y el resto de los pasos se siguen en línea.

6.5.1 Procedimiento de revisión de intermodulación

1. Determinar si hay algún transmisor colocado cerca.
2. Recolectar la siguiente información sobre cada transmisor:
 - Tipos de antenas.
 - Tipo de emisión.
 - Potencia de transmisión.
 - Ubicación de antenas.
 - Operador del equipo.En el caso de EEUU el Número de licencia FCC.
3. Hacer un reporte de estudio de intermodulación que muestre su propia banda o en otra banda la naturaleza del problema.
4. Asignar el tiempo suficiente para hacer la revisión del reporte.
5. Determinar si hay un problema potencial.
6. Formular una hipótesis para la causa del problema y una solución de ingeniería.

Basado en el problema actual encontrar la solución puede tomar una de las siguientes formas

1. ¿ La identificación del problema es posible ?
2. ¿ El problema puede resolverse en forma aislada ?
3. ¿ El problema está relacionado con una sobrecarga del receptor ?

Si el problema es debido a la asignación de frecuencias, se tendrá que cambiar el plan de frecuencias, si el problema es por un receptor sobrecargado, se puede colocar un filtro Notch en la ruta de recepción si esto es causado por una frecuencia discreta, si es producido por celulares móviles se puede resolver colocando un atenuador en la ruta de recepción, antes del primer amplificador (con lo que se reducirá la sensibilidad del receptor).

6.6 Aislamiento

El grado de aislamiento necesario para un sistema de comunicación depende de ciertos elementos

- 1 La ubicación de la potencia del transmisor o receptor.
- 2 La tecnología de la plataforma utilizada
- 3 La sensibilidad del receptor.

6.7 Revisión de los sitios de comunicación

Los principales elementos que se necesitan revisar durante el comisionamiento de un sitio de comunicación se muestra a continuación. Esto es una lista inicial, pero pueden ser agregados o eliminados algunos elementos de acuerdo a las condiciones particulares de cada operador.

Elementos de una ubicación de sitio:

- 1 Acceso las 24 horas
- 2 Estacionamiento
- 3 Dirección del sitio
- 4 Elementos clave
- 5 Restricciones de entrada y acceso
- 6 Horas de operación del elevador
- 7 Copia de salida
- 8 Copia de permisos al edificio
- 9 Obtención de las versiones.
10. Certificado de ocupación

Utilidades:

- 1 Separación métrica de la instalación
- 2 Potencia auxiliar (generador)
- 3 Rectificadores instalados y balanceados
- 4 Baterías instaladas
- 5 Baterías cargadas
- 6 Seguridad instalada
- 7 Fuentes de ventilación

Selección de sitios

Facilidades:

- 1 Cobre o fibra
- 2 Potencia de la fibra (si aplica).
- 3 Líneas telefónicas para operaciones
- 4 Número de facilidades identificadas por ingeniería
- 5 Expansión

HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning)

- 1 Instalación completada.
- 2 Prueba HVAC.
- 3 Aceptación del sistema HVAC

Sistema de antenas:

- 1 Requerimientos FAA
- 2 Antenas montadas correctamente
- 3 Revisión del azimuth de la antena
- 4 Revisión de la antena
- 5 Verificación SWR del sistema de antenas.
- 6 Registro SWR del sistema de antenas
- 7 Registro SWR establecido
- 8 Conexiones.
- 9 Herras

Operaciones.

- 1 Usar alarmas definidas

Ingeniería

- 1 Parametros del sitio definidos
- 2 Revisión de Interferencia completada
3. Instalación MOP (Maintenance Operations Protocol)
- 4 Requerimientos FCC.
- 5 Manejo de pruebas completado
- 6 Optimización completada
7. Paquete de mejoramiento completado.

Infraestructura de radio

- 1 Instalación de límites.
- 2 Equipo instalado de acuerdo a planeación
- 3 Prueba de filtros de recepción y transmisión.
- 4 Equipo de radio para los procesos de pruebas (ATP - Acceptance Test Procedures-)
- 5 Medida y corrección de la salida del transmisor
- 6 Atenuación completado

Selección de sitios

CAPITULO VII

DISEÑO DEL SISTEMA

7. Diseño del Sistema de RF

Dentro del diseño de una red celular, la planeación del sistema de RF es de suma importancia. Se deben tomar en cuenta las características de las demandas actuales y futuras, ya que en el diseño del sistema de RF se definen aspectos que determinan la dirección de la empresa.

7.1 Proceso de diseño del sistema de RF

El proceso de diseño es un proceso de múltiples refinamientos y ajustes sobre muchas variables, de las cuales muchas no están bajo el control de la ingeniería. Sin embargo, el análisis de crecimiento de sitios celulares en el diseño del sistema de RF puede usarse para ayudar a limitar los recursos de la compañía.

A lo largo de este proceso de diseño, se obtiene un rendimiento final del diseño del sistema de RF que es simplemente para identificar el número de los sitios celulares requeridos para la red y las fechas de liberación requeridas. Las fechas de liberación requeridas son muy críticas con un sistema existente, esto se debe a que desde ellas se define para cuando específicamente se necesita el sitio celular.

Otro aspecto en este proceso del diseño del sistema de RF es el descomponer en factores el número de radios físicos o sea la capacidad de soporte de tráfico, para cada sector y sitio celular. En la actualidad existen muchos programas de computadora que sirven para modelar nuevos sistemas, tanto sus elementos requeridos como sus capacidades. Sin embargo, el siguiente proceso que se presentara no requiere de programas. Este proceso puede usarse para TDMA analógico, y GSM pero no es totalmente válido para CDMA ya que el proceso requiere el uso de un programa de computadora que modele la medición del ruido externo e interno en diferentes niveles del sistema.

El proceso requerido es como se indica a continuación.

- 1 La comercialización de requerimientos
- 2 Metodología.
- 3 Decisión tecnológica.
- 4 Definición del tipo de sitio celular
- 5 El establecimiento del cálculo de enlace (link budget)
- 6 Definición de los requerimientos de cobertura
- 7 Definición de los requerimientos de capacidad.
- 8 Completar el diseño del sistema de RF.
- 9 Emitir área de búsqueda.
- 10 Prueba de calificación del sitio (SQT)
- 11 Aceptación del sitio / rechazo del sitio
- 12 Proceso de obtención de derechos de uso de suelo del sitio
- 13 Integración.
- 14 Entrega en operación.

7.2 Metodología

La metodología para el diseño de RF debe ser establecida al principio del proceso de diseño

Algunos de los puntos que necesitan ser identificados en este momento son:

- Intervalos de tiempo para que los que se basara el reporte.
- Proyecciones de crecimiento de suscriptores (actual y futuro por cuarto)
- Proyección de uso del suscriptor (la actual y la pronosticada por cuarto)
- Tipos de suscriptores (móvil, portatil, o una combinacion de ambas).
- Criterios de diseño(tecnología, especificacion).
- Números básicos del sistema a construir sobre el estudio de crecimiento
- Expectativas de construccion del sitio celular.
- Nuevos plazos de tiempo y despliegues de tecnología
- Presupuesto de construcción
- Fecha de vencimiento del informe
- Los puntos máximo y mínimo de tiempo fuera para los sitios celulares cuando una nueva célula se agrega al diseño.

Es esencial tener los plazos de tiempo para el informe establecidos con anterioridad al comenzar el diseño del sistema y la generación del reporte

Los plazos de tiempo de diseño necesitan medir cuánto tiempo después de que el sistema inicio su operación el diseño va a ser válido, suponiendo que los aportes de comercialización y las suposiciones de construcción permanecen válidas

Si el sistema ya existe, los datos básicos usados necesitan ser determinados. Los plazos de tiempo basico generalmente se especifica con algun mes en particular, y el plazo de tiempo del diseño que se seleccione determinará el conjunto de datos que se usará para generar el informe

Los planes particulares de mercadotecnia también necesitan ser separados dentro del informe. Los parámetros básicos de entrada necesitados para el diseño de RF desde el departamento comercial o de mercadotecnia se enumeran abajo (La información es crítica sin considerar si el sistema es nuevo o es el actual)

1. El crecimiento de suscriptores proyectado para el sistema, en el rango de tiempo en estudio
2. Los millerangs proyectados por suscriptor esperados a intervalos discretos en el tiempo en estudio.
3. La tasa de dilución para el uso de suscriptor sobre el plazo de tiempo en estudio
4. Los tipos de equipo usados por el suscriptor en la red y porcentaje de distribución de proyección CPE (que es, las unidades portátiles o móviles en el uso y su porcentaje de distribución).
5. Planes especiales de promoción sobre el plazo de tiempo del estudio.
6. La proyección de los datos del número de usuarios móviles sobre el periodo de tiempo en estudio
7. Las 10 áreas de mayor quejas por el usuario en la red que requieren mejoras en cobertura
8. La identificación de áreas claves de cobertura en la red que necesitan ser incluidos para el sistema que inicia su operación

Los aspectos que necesitan ser incluidos en el criterio de diseño de RF como mínimo, se muestran a continuación:

1. Los datos provenientes de mercadotecnia.
2. El espectro de Radioléctrico disponible para la planeación de RI
3. El tipo de grado de servicio de mesa a ser usada para el plan, que es, erlang E1 B PO2
4. Los puntos mínimo y máximo fuera de carga para nuevas células.
5. Los requerimientos de cobertura.
6. La identificación de sitios de cobertura
7. Hora pico de tráfico, promedio de los 10 días más altos por mes (sistema existente)
8. Infraestructura de equipo de construcción.
9. El crecimiento de radios analógicos y digitales.
10. Nuevas consideraciones de tecnología
11. Configuraciones de un sitio celular usado para nuevas células
12. Numeros basicos del sistema
13. Consideraciones de despliegue de sitio celular

Los aspectos de construcción del sistema necesitan ser divididos en el reporte mismo. Estos pertenecen a los sitios celulares nuevos propuestos que son o estarán pronto bajo construcción. Otros aspectos de la construcción implican la posibilidad de realmente construir lo que se solicita en el marco de tiempo especificado dictado en el informe

Los aspectos de la construcción del diseño pueden forzar a que ocurra un rediseño para acomodar los requisitos de cobertura o de capacidad del RF.

7.3 Decisión tecnológica

La decisión tecnológica es un aspecto crítico en el diseño de RF. Las características asociadas a un sistema analógico son específicamente diferentes de las características para un sistema digital. La tecnología elegida tendrá un impacto profundo en cómo se diseña el sistema

Algunos aspectos que deben tomar en cuenta, son los siguientes

- Requerimientos de espectro tanto actual, como en el futuro.
- Requerimientos de crecimientos a corto y mediano plazo.
- Compatibilidad con diferentes tecnologías
- Tipos de información y servicios que se manejará en la red.

7.4 Cálculo de enlace (Link Budget)

El cálculo de enlace no solo es determinado con la finalidad de cubrir las necesidades físicas definidas del diseño del sistema sino también las cuestiones de la comercialización pública

El objetivo de definir el cálculo de enlace es llegar a las dimensiones de células necesitadas para el diseño de red. La relación de transformación de D/R elegida para el sistema determina específicamente el radio del sitio y también la distancia entre las mismas células

7.5 Sitios celulares

Dentro de una red celular existen diferentes tipos de sitios celulares que pueden coexistir al mismo tiempo, de los cuales algunos se enuncian a continuación

- Omni
- Direccional
- 3 sectores
- 6 sectores
- Microcélula
- Pico-celula

La selección del tipo de sitio celular está influenciada por aspectos económicos, de tráfico y demanda, y de crecimiento. Esta selección de los tipos de sitios celulares dentro del diseño de la red tendrá un impacto profundo en el éxito o el fracaso del diseño de red. Y depende de si se desea diseñar un sistema de bajo costo o no

Utilizando el cálculo de enlace, se puede establecer un cálculo aproximado del número de los sitios celulares requeridos para el diseño de red. El cálculo aproximado para los sitios celulares necesita factorizarse en los requerimientos de la capacidad para la red

7.6 Requerimientos de cobertura

Dentro del proceso del diseño del sistema de RF, un paso importante de progresión es el determinar todos los requisitos de la cobertura necesitados para la red. Estos serán obviamente diferentes para un sistema nuevo que para uno existente. Para un sistema nuevo los requisitos de cobertura serán establecidos por el área de mercadotecnia.

7.6.1 Proceso de identificación de la cobertura del RF para un sistema nuevo

- Los requisitos de la cobertura son definidos por las áreas de mercadotecnia y ventas
- Usando los criterios de diseño de la ingeniería del RF, se determinan cuántos sitios serán necesarios satisfacer las metas de diseño.
- Usando la lista de los sitios celulares identificados en el paso anterior, ordenarlos de acuerdo a prioridades de la metodología del sistema.

7.6.2 Proceso de identificación de la cobertura del RF para un sistema existente

- Requisitos de cobertura identificados por
 - Mercadotecnia y ventas
 - Optimización del sistema
 - Operaciones del funcionamiento del sistema
 - Cuidado del cliente
 - Ingeniería de RF
- Generación de un diagrama de propagación del sistema, o subregiones, que reflejen la cobertura actual.
- Generación de un diagrama de propagación del sistema, o subregiones, que reflejen la cobertura actual y los sitios celulares que en un futuro estarán bajo construcción
- Utilizando medidas físicas del terreno, genere un diagrama del sistema, o los subregiones
- Con diagramas de las partes 2 y 3, compare esto contra las áreas identificadas en la parte 1 para la correlación.
- Con los diagramas de la medida en el terreno, comparela contra las partes 1 y 2 para la correlación
- Con los criterios de diseño usados por la ingeniería de RF, determinese cuantos sitios serán necesarios para satisfacer las metas de diseño
- Usando la lista de los sitios celulares identificados en el paso de progresion 7, ordene por rango los sitios según la metodología del sistema elegido

El sistema objetivo implicará cinco parámetros principales todos jerarquizados en una escala de 1 a 5 basandose según su severidad. Cada una de las cinco categorías recibe un valor el cual será multiplicado por cada campo para llegar a una graduación. La metodología de la graduacion utiliza los siguientes puntos claves

- 1 Cobertura
- 2 Potencial de Erlangs
- 3 Problemas del cuidado del cliente
- 1 Comercialización y necesidades de las ventas
- 5 Requisitos de funcionamiento del sistema

7.7 Número de sitios requeridos.

Para determinar el número de sitios para satisfacer la capacidad requerida se tienen que considerar varios factores, es importante recalcar que en un sistema nuevo, el potencial de satisfacer la capacidad es mínimo. En otros sistemas esta determinación requiere un proceso en donde se determine cuales sitios o sectores han sobrepasado su capacidad.

A continuación se presenta un método aplicable a AMPS, este mismo modelo puede adaptarse fácilmente a cualquiera de las plataformas empleadas.

La satisfacción de la capacidad de los sitios puede lograrse a través de varias opciones

- a) Agregando más radios.
- b) Ajustando algunos parámetros.
- c) Alterando el sistema de antenas
- d) Colocando nuevas células

El primer paso para identificar la capacidad requerida de los sitios celulares es el utilizar una hoja de calculo para determinar los problemas antes que se presenten, un posible formato se muestra a continuación (tabla 7.1)

Sistema XXXXX						
Fecha						
Plan de crecimiento de RF						
Cuanto de año de interes:						
Células	Baseline		Canales	Offload	Adquirido	Canales ajustados
	Erlangs	Canales				
1A	5.4	17	21	(0.4)	0	15
2A	4.0	12	16	0.0	0	16
101	0	0	0	0.6	3.1	12
XXX	a	b	c	d	e	f

Tabla 7.1. Plan de crecimiento de RF

Donde

- a. Es el valor base en erlangs usado al inicio. Es el valor encontrado de diseño, por ejemplo el promedio de los días de más alto tráfico
- b. Es el número de canales físicos disponibles en el sitio
- c. Es el número de canales requeridos para el sitio con base en las predicciones de tráfico.
- d. El valor de Offload es usado cuando el tráfico de una célula se transfiere a otra, se ha determinado que se puede transferir hasta el 40 % del tráfico.
- e. Es el tráfico adquirido, es decir el que el sitio recibe desde sus células adyacentes como resultado de hacer algunos ajustes en ellos (Es importante mencionar que ese tráfico que se ha adquirido se repartirá en uno o más sectores)
- f. El ajuste del canal es el resultado de todo el tráfico de "Offload" y el adquirido

Como se puede notar, el proceso de llenar este tipo de hojas es recursivo, hasta encontrar el criterio de diseño apropiado.

7.7.1 Tráfico de RF "Offloading" –fuera de carga–.

Este proceso se puede simplificar utilizando un elaborado método simulado a computadora. Con dicho método se podrán encontrar los valores de tráfico adquirido y de "offload"

Cuando de acuerdo a la tabla anterior se determino que es necesario agregar un nuevo sitio (no por requerimiento de cobertura, sino de capacidad de tráfico), se sugiere seguir el siguiente procedimiento iterativo hasta encontrar los valores adecuados

- 1 Verificar la cobertura actual de los sitios celulares.
- 2 Determinar los canales de control y de voz que sirven a esa área por célula y por sector.
- 3 Evaluar las configuraciones de los sitios celulares en la zona
- 4 Incorporar una célula con los datos provistos de los incisos anteriores
- 5 Comparacion de los mapas de propagación de los datos medidos del campo actual.
- 6 Establecer los porcentajes de tráfico adquirido y de "offload"

7.7.2 Crecimiento de radios

La planeación de crecimiento en radios del sistema de RF envuelve un analisis de los sectores individuales para cada celda que actualmente está en la red y las celdas propuestas

Las proyecciones de crecimiento son compiladas y alimentadas en el proceso. El objetivo es identificar como cumplir con los requerimientos de capacidad para un area determinada sin la introducción de una nueva celda

Los requerimientos de capacidad pueden llegar a satisfacerse con la introduccion de nuevos canales de radio

7.8 Guías de implantación del diseño de RF

Siempre es necesario seguir algunos lineamientos en el diseño de RF ya sean algunos formales o informales, conforme avanzan los sistemas de comunicaciones inalámbricas, se van haciendo mas complejos, sin embargo el no emplear los puede provocar situaciones desastrosas

Estos lineamientos pueden ir desde la supervisión del líder del departamento hasta la revisión de un grupo de expertos. Lo altamente recomendado es que el departamento de diseño de RF documente dichos lineamientos con algunas bases predeterminadas y actualizadas (al menos anualmente). Esto no tiene que ser muy extenso, al contrario solo algunas hojas que sirvan como una rapida referencia de ingeniería.

Se muestra a continuación una sugerencia de la hoja de lineamientos para AMPS (Tabla 7.2), aunque se puede adaptar a otras plataformas

7.9 Diseño del sitio celular

Este no es necesariamente el primer paso del proceso de diseño, pero es uno de los más importantes del departamento de ingeniería de RF.

El proceso de diseño de un sitio celular puede tomar en cuenta muchos aspectos, y varía entre los procesos internos de una compañía y otra, pero básicamente deben tener los siguientes elementos:

- a) Buscar un área
- b) Hacer una prueba de calificación del sitio (SQT -Site Qualification Test-)
- c) Aceptar el sitio (De acuerdo al resultado anterior).
- d) Rechazar el sitio (en caso que sea necesario)
- e) Lineamientos especificados por las administraciones de gobierno locales
- f) Planificación y determinación de los bordes
- g) Acatamiento de EMF.

Nombre del sistema		Fecha		
	RSSI,dBm	ERP, W	Atea de la celula km/sq	Tipo de antena
Urbana	-80	16	3.14	12 dBd 90H/14E
Suburbana	-85	40	19.5	12 dBd 90H/14E
Rural	-90	100	78.5	10 dBd 110H/18E
Canales de voz C1		17 dB (90 percentiles)		
Reuso de frecuencia		N 7		
Máximo número de canales por sector		19		
Sistema de antena				
Orientacion del sector de la celda		0,120,240		
Altura de la antena		100 ft. o 30 m		
Banda de paso de la antena		825 a 894 MHz		
Perdidas en los alimentadores de la antena		2 dB		
Perdidas de retorno del sistema de la antena		10 a 24 dB		
Diversidad en espacio		d h/11 (d = Espaciamento de la antena receptora, h AGI de la antena)		
Antenas receptoras por sector		2		
Antenas transmisoras por sector		1		
"Offset de la altura de la azotea"		h x/5 (h = altura de la antena desde la azotea, x distancia desde el borde de la azotea)		
Criterio de optimización				
Tasa de llamadas perdidas		2 %		
Intentos fallidos		2 %		
Bloqueo de RI		1 % 2 %		
B1 R11 R		1 %		

Tabla 7.2 Guías del diseño de RI

7.10 Búsqueda de un área

Las especificaciones del área a buscar debe cumplir con los requerimientos del departamento de ingeniería de RF, pero también es necesario considerar los requerimientos de construcción.

A continuación se propone un formato en cuanto a los requerimientos de ingeniería de RF (tabla 7.3)

Ingeniería de RF	
Código de búsqueda de área:	
Fecha en que se desea poner en operación:	
Tipo de búsqueda de área: (Capacidad, cobertura, plan de frecuencias, competitividad, nueva tecnología)	
Mapa del área a buscar Colocando datos referentes al sitio buscado, por ejemplo células adyacentes	
Configuración del sitio celular: (omnidireccional, 3 sectores, 6 sectores, otro)	
Tipo de infraestructura: (Por ejemplo macrocélula o microcélula)	
Tamaño físico del cuarto (o site) para el equipo: ft ² , o m ²	
Información de la antena	
1	Número de antenas.
2	Tipo de antenas: (Anexar las especificaciones del fabricante)
3	Altura de la antena
	AGL
	AMSL
Longitud máxima de cable:	
Comentarios	
Además de lo anterior la hoja debe tener un formato con los datos del expediente por ejemplo número de documento, fecha, ingeniero que hizo el diseño, nombre de quien lo revisó, y número de revisiones	

Tabla 7.3 Formato de requerimientos para la selección de sitios.

7.11 Prueba de calificación del sitio (SQT)

Esta es una parte integral del diseño de RF del sistema, con el fin de aprobar o desaprobar un sitio antes de que se invierta un fuerte capital en la implantación del mismo. Como el seguir este procedimiento implica un cargo extra, muchos operadores deciden aplicarlo solo en un determinado porcentaje de sitios (por ejemplo 75%), asumiendo con ello un factor de riesgo.

Esta prueba consiste en colocar el transmisor bajo algunos parámetros (altura, ubicación, etc.) e ir moviéndose en alguna ruta (donde se desea tener cobertura) e ir almacenando los datos a través de un receptor y una computadora. El formato sugerido del SQT se muestra en la tabla 7.4.

7.12 Aceptación del sitio (SA –Site Acceptance-).

Una vez que el sitio potencial ha sido probado y se determina que es aceptable, el departamento de ingeniería de RF debe comunicarlo a los demás departamentos, inicialmente puede ser solo de forma oral, pero también es necesario generar un documento, se propone utilizar algo como el formato que se muestra en la tabla 7.5.

Prueba de calificación del sitio.		
Fecha:		
Código del área buscada.		
Dirección del sitio de prueba.		
Contacto del sitio:	Nombre:	Teléfono:
Parámetros de prueba:		
1. Nombre o número de mapas que abarca SQT		
2. Antena de prueba: (No. de modelo, marca).		
3. Altura de la antena de prueba		
AGL		
AMSL		
4. Prueba ERP Watts		
5. Orientación antena		
6. Canal frecuencia de prueba		
7. Espacio libre coordinación		
Implantación de la prueba:		
1. Información del montaje de la antena		
2. Rigger requerido (Si/No)		
3. Bosquejo de localización de la antena anexado (Si/No)		
4. Rutas de prueba anexadas (Si/No)		
5. Líder del equipo de SQT		
Postprocesamiento:		
1. Escala del mapa		
2. Código de colores		
3. Método de reducción de datos		
Equipo de prueba:		
1. Fecha de calibración del equipo de prueba de SQT		
2. Fecha de calibración del transmisor SQT		
Además de lo anterior, la hoja debe incluir un formato con los datos del documento, como el número de folio, la fecha, el ingeniero que lo hizo, y quien lo revisó		

Tabla 7.4. Formato SQT.

Ingeniería de RF

Código del área buscada:

Número de documento SAF (Site Acceptance Form):

Dirección del sitio:

Latitud: AGL:

Longitud: AMSL.

Parámetros regulatorios:

- 1 Se anexo el análisis de FAA (Si/No)
- 2 "FAA lighting/markung requeridos" (Si/No)
- 3 Extension de contorno FCC requerido: (Si/No)

Información específica del sitio:

- 1 Configuración de la antena anexo, (Si/No)
- 2 Localización del equipo de radio definido, (Si/No)
- 3 Bosquejo de la ubicación del equipo de radio anexo (Si/No)
- 4 Tipo de equipo de radio
- 5 Estructura de la antena (azotea, monopolo de la torre, tanque de agua)
- 6 Equipo del site (prefab, adecuación del interior)
- 7 Longitud del cable aproximada

Tipo y cantidad de antenas.

Sector	Tipo	Cantidad	Orientación	ERP

8 Transmisores existentes en la estructura (Si/No)

9 En el caso afirmativo, estado de las frecuencias, ERP, señal de llamada, y ubicación física de cada uno

Información de la calificación.

- 1 No. de documento de SQI
- 2 Gráfica del diseño de propagación anexo (Si/No)
- 3 Diagrama del "drive test" del SQI, anexo (Si/No)
- 4 Tipo de sitio
 - Cobertura (Si/No)
 - Capacidad (Si/No)
- 5 Se terminó el estudio de IMD; (Si/No).
- 6 Comentarios particulares del sitio

Ademas de ello se debe agregar un formato especial con la fecha, el número de folio del documento, el nombre del ingeniero que lo realizó y el de quien lo revisó

Tabla 7.5. Formato de aceptación del sitio

7.13 Rechazo del sitio

En el desafortunado caso, en que el sitio potencial que ha sido probado se determine como rechazado, se debe también llenar una forma donde se especifique las causas por las que el sitio no calificó, esto con el fin de aclarar formalmente la desaprobación, a sí mismo se puede utilizar el mismo sitio para futuros diseños donde se tengan condiciones más favorables. Es importante que este reporte lleve la firma del gerente de ingeniería para que avale las razones por las que se rechazó el sitio. Se propone el siguiente formato (tabla 7.6):

Ingeniería de RF
<p>Código del área buscada: El sitio (<u>nombre del sitio</u>) fue probado el (<u>fecha del día de prueba</u>) y no cumplió con los criterios de diseño definidos para el área buscada.</p> <p style="text-align: center;">La prueba del sitio no cumplió los criterios de diseño por las siguientes razones:</p> <hr style="border: 0.5px solid black; margin: 10px 0;"/> <hr style="border: 0.5px solid black; margin: 10px 0;"/>
<p>Ingeniero de RF: Gerente de ingeniería:</p>

Tabla 7.6 Formato de rechazo del sitio.

7.14 Activación del sitio.

La activación de un sitio celular dentro de una red es muy importante, es el punto donde se determina que tan eficientes fueron los criterios de diseño del sitio para resolver el problema del área. Así como fue importante la interacción de los grupos de ingeniería de RF y de construcción en la aprobación del sitio, será importante que sigan coordinados y se tenga un plan de acción cuando ya este operando el sitio.

7.15 Lineamientos

En los Estados Unidos de América, el cumplimiento de la FAA es necesario para todos los sitios en el sistema para asegurar que cada sitio esté dentro del cumplimiento. La verificación debe ser realizada durante el proceso de chequeo del diseño. Si no es así, debe realizarse un rediseño potencial.

Los elementos clave que necesitan seguirse para el cumplimiento son:

1. Altura
2. Plano de inclinación
3. Alarma
4. Señalización e iluminación

Es importante que la revisión este siempre documentada.

En México esta información de los sitios celulares se le entrega a la COFETEL en un modo informativo, con la finalidad de que sepan la cantidad de sitios celulares existen. Pero realmente no existen lineamientos a seguir por parte de la COFETEL.

Las únicas reglas a seguir están impuestas por el ayuntamiento y las normas de aeronáutica (para el caso de antenas cercanas al aeropuerto). Las cuales definen en donde pueden instalar una antena (en el caso de las reglas impuestas por el ayuntamiento), y el color que deben tener las antenas, así como una indicación luminosa (en el caso de las reglas de aeronáutica)

7.16 Planeación y Tabla de Divisiones

Las Divisiones o Tabla de Planeación debe ser parte del proceso de revisión de diseño. En muchos casos una modificación al diseño del sitio a tiempo puede eliminar retrasos en el programa para la construcción del sitio celular

El papel que juega la ingeniería en el proceso se debe a que los elementos asociados con los campos electromagnéticos deben ser "saludables" y seguros. Los elementos que deben presentarse o prepararse como mínimo son:

- 1 Descripción del por qué el sitio es necesario
- 2 Como el sitio mejorara la red
- 3 Dibujar cómo se observará el sitio
- 4 Gráfica de cumplimiento
- 5 Hojas de información EMF y direcciones de la audiencia

La preparación para la junta es esencial, desde los comentarios hechos por empleados o consultores de la compañía que son el registro público

7.17 Cumplimiento EMF

El cumplimiento EMF necesita ser elaborado dentro del proceso de diseño y su operación debe continuar para la facilidad de la comunicación. El uso de un formato EMF es muy recomendable para asegurar la seguridad del personal y los cumplimientos a los requerimientos gubernamentales. Una fuente simple para el elemento de cumplimiento EMF debe acompañarse con una política EMF de la compañía

El formato EMF debe ser incorporado dentro de los documentos para el sitio identificando los transmisores usados, potencia, quién hizo los cálculos, y cuándo fue la última vez que se realizó. Como una parte regular del proceso de mantenimiento preventivo el sitio debe ser revisado para cumplimiento y cambiado a los cálculos del formato fundamental

El método para el cálculo del cumplimiento se incluye en la especificación de la HELL-C95 1-1991 con técnicas de medición incluidas en C95 3

7.18 Planeación de Frecuencias

La planeación de frecuencias o más aún la administración de frecuencias es una parte integral del diseño del sistema, es una función crítica para todos los sistemas de comunicación inalámbricos. La mayoría de las planeaciones de frecuencias en una red están determinadas en gran medida por la plataforma de tecnología seleccionada por el operador. Hay muchas variantes para la planeación de frecuencias, desde la coordinación de un simple canal de transmisión hasta la manipulación de cientos de canales de radio.

Dentro de las comunicaciones celulares y PCS la cantidad de frecuencias planeadas va desde la segmentación del espectro disponible hasta la definición de diferentes códigos para CDMA.

El proceso de planeación de frecuencias necesita ser revisado rigurosamente en una base continua para siempre redefinir el sistema.

Las relaciones C/I , E_b/N_0 y la tasa de BER son solo algunos de los elementos que definen el criterio de planeación de frecuencias.

El patrón de reuso es principalmente manejado sobre la plataforma tecnológica seleccionada y la configuración de la infraestructura utilizada. El elemento fundamental es controlar la interferencia y no fallar en el proceso de revisión del diseño. Es importante entender los principios fundamentales para cualquier red. Fallar representa limitar la capacidad de expansión del sistema.

Una racional definición del proceso de diseño implica eliminar la multitud de perturbaciones disponibles para cualquier plan de frecuencias administradas. Varios métodos se emplean para lograrlo. El método elegido por el "mobile carrier" está en función de la capacidad para la forma de administración de frecuencias, los retrasos y los elementos de integración del mercado adyacente, por mencionar unos pocos. Obviamente el método empleado para el plan de frecuencias tiene que asegurar que se obtenga la mejor relación C/I para la interferencia RF de los canales adyacente y co canal.

El uso del cuadrículado es esencial para un plan inicial. El uso del "grid" es esencial para proceder con las irregularidades de la cobertura del sitio, la carga de tráfico y las configuraciones que se requieren para continuar con el plan de frecuencias de la red.

Los canales específicos disponibles para sistemas celulares, están basados en las licencias adquiridas, ya sea A ó B.

7.19 Activación de Sitios

La filosofía de la activación de sitios (turn-on) es variable. Algunas de las filosofías son manejadas por ingeniería y otras por objetivos financieros. Varias filosofías son usadas en la industria inalámbrica.

La primera se usa cuando un sitio está terminando de construirse, debe ser activado dentro de la red.

El segundo es que la depreciación del sitio debe ser minimizada o maximizada dependiendo del método empleado por la compañía.

El tercero: el sitio o los sitios no son activados hasta que el plan de implantación se activa cuando ingeniería dicta el tiempo de las nuevas celdas.

El cuarto: es una combinación del segundo y tercer métodos

La revisión para una activación de un sitio dentro de la red necesita ser dirigida por varias partidas. Hay varios niveles de revisión de diseño para este proceso. El primer nivel de revisión de diseño comprende la ingeniería RF y la ejecución de ingeniería, discutiendo los planos y revisando el plan de acción. El segundo nivel de revisión de diseño comprende tener la administración del grupo de ingeniería de RF en la implantación del diseño con completa concurrencia con la dirección de la ejecución de la obra. El tercer nivel de revisión de diseño comprende revisar el plan con el director de ingeniería y personal de operaciones para asegurar que todas las piezas están en su lugar y que nada se queda fuera.

Después de que la revisión del diseño se completa, la MOP para la activación se realiza. El MOP debe tener destreza y todas las partidas que envuelvan el informe de sus papeles.

Esto es esencial para incluir un procedimiento para la activación del sitio celular en el evento de un desastre mayor. El procedimiento de escalación debe ser definido en el MOP y la decisión de si o no ir necesitará ser tomada a nivel de dirección, usualmente el director de ingeniería o el director de operaciones.

Después de que el MOP es realizado y la revisión del diseño es completada es esencial que el potencial de la nueva celda sea visitado por ingenieros de RF y de desempeño en varias etapas del periodo de construcción. Sin embargo, antes de la activación es esencial que tenga lugar una preactivación (PTO). El PTO asegura que el sitio esté configurado e instalado apropiadamente, así que cuando el sitio es activado dentro de la red ya se conoce la integridad básica del sitio.

El MOP lista enfoques sobre notificaciones en voice mail para muchos grupos dentro y fuera de la compañía. Sin embargo, es esencial que la activación de las nuevas células y la mayoría de las actividades sean anunciadas a otros departamentos en la compañía para informarles de los esfuerzos que hacen ingeniería y operaciones.

Los principales grupos para asegurar que el nivel de notificación tenga lugar son:

1. Ventas
2. Marketing
3. Servicio al Cliente
4. Operaciones, Logística e Ingeniería
5. Comunicaciones corporativas
6. Legal y Regulación

La compañía entera debe estar enterado de los eventos, puede ser a través de extensiones individuales, una cuenta de e-mail o con mensajes electrónicos.

La coordinación externa para nuevos sitios es tan esencial como la coordinación interna, ya que los vecinos del sistema deben y necesitan saber cuando se están introduciendo nuevos sitios en la red y otras actividades.

Después de que el sitio es activado dentro de la red es esencial que se comience una prueba post-activación.

Los parámetros clave o factores que necesitan ser revisados como parte de las actividades post-activación son:

1. Revisión de configuración de sitio
2. Análisis Métricos
3. Análisis de Pruebas Manejadas
4. Reporte de desempeño del nuevo sitio

7.20 Reporte de Diseño del Sistema RF

Cuando un reporte eficiente se aplica a un nuevo sistema, los elementos asociados con el nuevo sistema pueden ser aplicados eficazmente dentro del reporte

Los siguientes tópicos son algunos de los elementos que se pueden incluir en un plan de un sistema RF

1. Sumario Ejecutivo
2. Introducción
3. Criterios de Diseño
4. Análisis del Sitio Celular
5. Cálculos de enlace
6. Mapas de Cobertura
7. Resumen de requerimientos

7.21 Presentación

Es posible que se elaboren dos presentaciones una para el departamento técnico y otra para la administración superior. Ambas deben contener una combinación de ayudas visuales y folletos. Las ayudas visuales deben consistir de varias gráficas con la configuración de la red actual y futura. Pueden incluirse ayudas visuales adicionales que incluyan slides donde se describan los atributos clave del plan. Los folletos distribuidos deben reflejar exactamente la misma información que se muestra en los encabezados proyectados.

7.22 Dimensionamiento de una red celular

El dimensionamiento de una red celular abarca primordialmente dos aspectos, el dimensionar la cobertura y la capacidad, esto tomando en consideración:

- I. Datos estimados de tráfico, (estudios de marketing)
- II. Niveles, Disponibilidad (Datos estimados para el diseño)

Para lograr este objetivo, se deben establecer el número y las características generales de los nuevos proyectos de radiofrecuencia que deberán ser considerados dentro del presupuesto, participa en la visita de sitios candidatos haciendo estudios de campo (análisis de sitio) y en oficina (simulación de coberturas, interferencias, etc); así como generar la documentación apropiada para coordinar la construcción y puesta en operación de las radiobases

Para poder hacer un estimado de tráfico se desarrollan estudios de marketing y cobertura, además existen dos características adicionales que se deberán considerar para establecer un nuevo proyecto: tráfico cursado por sector y calidad y disponibilidad de servicio en determinadas zonas. Esto debido a que se estiman zonas donde hay una mayor demanda de los servicios

7.22.1 Tráfico

Para poder dimensionar una red telefónica, es necesario conocer la cantidad de total de Erlangs que dicha red estará utilizando y el porcentaje de bloqueo de llamadas que se espera rechazar.

En Telecomunicaciones, un erlang es un número entre 0 y 1 que indica que tan ocupado está un servicio telefónico sobre un período de tiempo. Un erlang de 1 aplicado a un circuito telefónico indicará que el circuito está ocupado el 100% de tiempo. Un erlang puede ser aplicado a un grupo de líneas en una troncal telefónica o al tráfico en un centro telefónico de llamadas (Call Center)

El término proviene del apellido del ingeniero en telefonía danés, A. K. Erlang, el precursor de la teoría de colas.

Un dato importante para el cálculo de Erlang es conocer el No. de llamadas y las características de tráfico de la red en cuestión y definir el promedio de las variaciones que se consideren pertinentes, un diseño completo implicaría el promedio de todas las variaciones indicadas a continuación en la figura 7.1

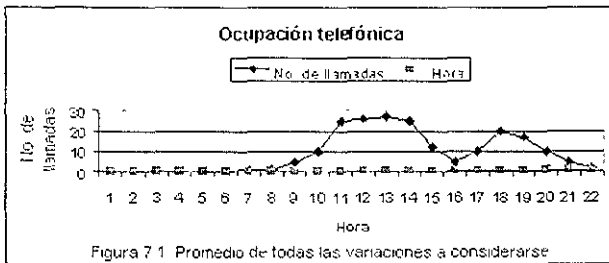


Figura 7.1 Promedio de todas las variaciones a considerarse

7.22.1.1 Variación en el tiempo de duración

Se refiere al promedio de la duración de las llamadas, en segundos, de una red determinada. Por ejemplo, si se realizan 3 llamadas al día y sus duraciones respectivas son: 180 seg, 300 seg, 200 seg, el promedio será 226.7 seg por llamada. Un valor típico de duración de llamadas es de 180 seg

7.22.1.2 Variación de horario

Es la consideración que implica que el número de llamadas no es el mismo en el transcurso del día. Por ejemplo, se han hecho mediciones reales y se ha encontrado que en las oficinas la mayor cantidad de llamadas (horas pico) son entre 10:00 y 13:00 h (Antes de la hora de la comida) y entre 15:00 y 18:00 hrs (Antes de la hora de salida). Este valor debe tomarse en cuenta para no tener un bloqueo de llamadas durante las horas pico.

7.22.1.3 Variación diaria

Se define por semana, quincena ó mes. Probablemente en fines de quincena, lunes o viernes, el tráfico de llamadas sea más intenso que en otros días.

7.22.1.4 Variación de temporada

Durante las vacaciones de las otras empresas, el tráfico de llamadas de una empresa que labora durante esos días disminuirá; asimismo ocurrirá durante el fin e inicio de año. Este concepto también se puede aplicar para una compañía de energía eléctrica donde en Verano el uso de energía eléctrica, para aire acondicionado, será más intenso que en un día templado.

7.22.1.5 Variación a largo plazo

Aquí se pueden considerar las expectativas de crecimiento a un año, 5 años, 10 años, etc., esto es importante, si se desea mantener la misma calidad del servicio a través de los años.

7.22.2 Estimación del volumen de tráfico

7.22.2.1 Volumen de tráfico

Una vez consideradas y cuantificadas todas las variaciones mencionadas en el apartado anterior se obtiene un promedio (en segundos) de las duraciones de las llamadas. Un parámetro importante que se debe de considerar para este cálculo es el número de llamadas en horario pico, es decir, el número máximo que esperamos o que realmente se está utilizando a determinada hora del día.

Volumen del tráfico = No. de llamadas x duración promedio

Ejemplo. 1000 llamadas x 180 seg = 180,000 seg

Si se trata de un servicio telefónico que se está facturando o del cual se estima obtener alguna ganancia, también se puede obtener el ingreso estimado:

Ingresos = Volumen de tráfico x costo por minuto

Ejemplo. (180,000 seg / 60 seg) x \$3.00 por minuto = \$9,000.00

7.22.2.2 Intensidad de tráfico

Erlang = 1 circuito de voz ocupado por una hora = 1 circuito por 3600 seg
CCS (Centrum Call Seconds) = 1 circuito de voz ocupado por 100 seg

1 Erlang = 36 CCS

7.22.2.3 Grado de Servicio

Es aquí donde se considera el porcentaje de bloqueo de llamadas, el típico es de 2%

7.22.2.4 Cálculo de tráfico

Ejemplo:

Un usuario tiene 20 extensiones telefónicas y, después de hacer los cálculos necesarios obtiene que está ocupando 0.3 Erlang por usuario y él desea un porcentaje de bloqueo del 2%

¿Con cuantos circuitos de voz puede proveer este grado de servicio?

20 usuarios * 0.3 Erlang = 6 Erlang en total

Con este dato de 6 Erlang y con el porcentaje de bloqueo; entramos y relacionamos los valores en la tabla y obtenemos por resultado que con 12 circuitos podemos ofrecer esta calidad de servicio

Una vez teniendo un estimado de Erlangs totales, se procede a consultar en tablas, para determinar el número de radios a utilizarse. Teniendo este dato y determinando el número de células que se requieren para cubrir el área deseada se determina el número de canales por célula

7.23 Dimensionamiento de una central celular

Una central celular actúa como un conmutador normal, las características de diseño de cada uno dependen de cada proveedor, para hacer la selección y dimensionamiento de una, es necesario contar con datos del número de radio bases que se deseen cubrir, y el número de canales (y por ende radios) que se van a utilizar en cada una. Una configuración típica de una radio base, consta de una radiobase de tres sectores y 20 canales (E0's) por cada sector, todo esto dándonos 60 E0's, en este caso lo que se acostumbra hacer es transmitir toda la información de la célula con dos enlaces E1's (64 E0's) Utilizando los canales restantes para señalización y control

Un valor típico de una central celular es el soporte de 1000 radiobases, pero se procura mantener un porcentaje de uso por debajo del 60%, es decir podría tener unas 600 radiobases

7.24 Número de canales y número de células

El tamaño de las células está determinado por un parámetro de calidad de servicio, el cual es determinado por un valor mínimo de señal recibida. Este parámetro se determina a través de pruebas de campo (o a través de los diferentes modelos de cálculo citados en el capítulo V de este trabajo), y sobre este parámetro se realizan estimados tanto en equipos como en costos de lo que se necesita para poder proporcionar esta calidad al usuario.

Una vez determinado el diámetro de la célula se puede obtener el número de células necesarias para cubrir el área deseada. Este método se hace gráficamente, y consta de dibujar hexágonos sobre un mapa de la zona hasta cubrir toda el área deseada. Partiendo de un punto definido como el centro de toda la huella celular.

Una vez teniendo un estimado de Erlangs totales, se procede a consultar en tablas, para determinar el número de radios a utilizarse. Teniendo este dato y determinando el número de células que se requieren para cubrir el área deseada se determina el número de canales por célula.

Dentro del diseño habrá zonas en las que el tráfico pueda sobre pasar la capacidad de algún cluster, en esto caso se sobre pone una capa adicional de células mas pequeñas (o cluster) en cuanto a tamaño pero que tienen la misma capacidad. Así el tráfico puede ser absorbido por este cluster mas pequeño o puede compartirse la carga entre los cluster sobre puestos.

7.25 Procedimiento para agregar una radiobase

La metodología seguida para incorporar una nueva radiobase a la red celular es la siguiente:

1. Se recopilan datos de tráfico y número de usuarios estimados para el primer año de operación.

En base a los datos de tráfico promedio estimado, así como a través de datos proporcionados por el departamento de mercadotecnia, se determinan las zonas problemáticas definidas como las vecindades de las radiobases que presentan al menos un sector en saturación.

Dado que sabemos que para cierta zona el tráfico cursado por el sector de una radiobase es mayor que el tráfico que dicho sector soporta, se considera la posibilidad de establecer un nuevo sitio celular alineándolo en "grid", es decir, si dentro para la zona de estudio existe algún vértice del hexágono primario de cluster libre, se utilizara dicha posición para establecer un nuevo sitio celular en esa área. Si por el contrario, el cluster se encuentra completo, si por razones de orografía no puede establecerse un sitio en otro extremo del vértice (existe una barranca, o una montaña alta, etc.), o si no es posible colocar un nuevo sitio debido a que afecta a las radiobases vecinas, entonces se procederá a colocar un nuevo sitio celular en el siguiente segmento o "split" disponible. Es de hacer notar, que cuando se ha llegado al mínimo tamaño definido para un split (500 metros para el caso de la Ciudad de México), se ubicara cerca del sector saturado una microcélula.

2 *Se genera el área de búsqueda*

En este documento se indican tanto la posición geográfica donde se desea ubicar la nueva radiobase, como su número de identificación, nombre y referencia de tal forma que pueda llevarse una adecuada administración del proyecto.

3 *Visita y análisis de sitios.*

Ya con el área de búsqueda, se presentan una o más opciones para cada sitio y se deberán de coordinar una visita y evaluar la factibilidad de establecer un sitio ahí.

Después de realizada la visita pueden ocurrir tres situaciones.

- a) Que el sitio no sea viable desde el punto de vista de Radiofrecuencia ya que se encuentra en una zona desde la cual no cubre los objetivos para los que inicialmente se creó, tiene algún sector obstruido (existe un edificio, espectacular, montaña, etc en su vecindad) o se encuentra muy lejos del área de búsqueda inicial
- b) Que el sitio no sea viable desde el punto de vista de Obra Civil, ya que la estructura del edificio no puede soportar una torre o la azotea no tiene espacio suficiente para instalar los tensores
- c) Que el sitio sea aceptado

4 *Aprobación de proyecto*

Cuando el personal de obra civil y radiofrecuencia aprueban alguna de las propuestas presentadas por los subcontratistas, se emite un documento en el que se indican las características de la nueva radiobase. Esto incluye, altura de la torre, tipo de antenas que deberán ser instaladas, inclinaciones y orientaciones de las antenas y ubicación de la radiobase.

El departamento de obra civil se encargará de generar los planos para dicho proyecto tomando en cuenta los datos proporcionados por DPRF e instruir a los subcontratistas encargados de construir la radiobase.

En este punto, el departamento de adquisición de inmuebles se habrá encargado ya de conseguir el contrato para la instalación de la radiobase, habrá acordado el monto de la renta mensual a pagar por el operador y deberá obtener los permisos correspondientes para la instalación del nuevo sitio celular

5 *Construcción de la radiobase*

6 *Instalación de equipo de radiofrecuencia*

Una vez terminada la obra civil, se pide a DPRF emita un documento llamado "OTAS" (Orden de Trabajo y Adecuación de Sitios) en el que se indicará al proveedor de equipo tanto la configuración de la radiobase, las antenas a utilizarla, su orientación e inclinación, el tipo de alimentador o "feeder" a usar y la relación de canales digitales vs. analógicos.

En dicho documento se indica además el nombre con el que será conocida la radiobase así como su mnemónico

7 Puesta en operación

Una vez instalado el equipo, DPRF procederá a emitir un documento llamado CDD en el que se le indica al proveedor tanto los parámetros básicos que deberán ser cargados en el MTX a la que fue asignada la radiobase (niveles de handoff, SAT, SCOL, etc) así como las posiciones y direcciones a las que se interconectan el PCM y los equipos de enlace asociados.

Por último, se indica al departamento de integración de sitios que efectúe las pruebas correspondientes a cada elemento de la radiobase y realice los ajustes necesarios para liberar el proyecto

7.26 Ejemplo de diseño de un sistema celular

En esta última sección de este capítulo se presenta un ejemplo del diseño de una red celular TDMA sobre un área urbana, que opera en la banda de los 1900 MHz. Este ejemplo solo involucra el cálculo de número de sitios celulares determinado por el método de área, así también el cálculo del número de centrales celulares necesarias para soportar todo el tráfico de una supuesta área de cobertura.

Es importante señalar que los datos tanto de área de cobertura como el requerimiento de tráfico son hipotéticos. La descripción del área de cobertura y requerimientos de tráfico se describirán enseguida

Una área que abarca tres poblados se divide en cuatro regiones, de las cuales tres corresponden a cada una de las poblaciones abarcadas, y la cuarta representa las carreteras principales que interconectan dichos poblados. La distribución en Km² se muestra en la tabla 7.7

Región	Área [Km ²]
1	76
2	48
3	38
4	30
Total	192

Tabla 7.7 Distribución de las regiones

Datos de mercadotecnia determinan que se estima una demanda de 45,000 usuarios distribuidos en toda la zona, con un tasa de tráfico de 9 merlangs por subscritor. La distribución de usuarios y tráfico por región, así como la densidad de tráfico por Km se muestran en la tabla 7.8

Región	No. de subscritores	Erlangs	Erlangs/Km	Tráfico, %
1	23,000	25.56	0.3363158	51.11
2	12,200	10.98	0.22875	27.11
3	8,800	7.92	0.2084211	19.56
4	1000	0.9	0.03	2.22
Total	45,000	40.5	0.2109375	100

Tabla 7.8. Información de erlangs y usuarios por región.

Se procede a calcular el link budget:

Frecuencia del enlace	f_c [MHz]	1947
Altura efectiva de la antena del móvil	h _{re} [m]	1.5
Factor de correlación de h _{re}	a(h _{re}) [dB]	0.04604
Altura efectiva de la antena de la RBS	h _{te} [m]	30
Factor de corrección por la morfología	CM [dB]	0

	Uplink	Downlink
Pot Tx [dBm]	23	28
Pérdida por jumper [dB]	0.5	0.5
No Jumpers	2	2
Pérdida total por jumper [dB]	1	1
Pérdida por L.t. [dB/100m]	4.46	4.46
Longitud de la l. t. [dB]	15	15
Pérdida total por L.t. [dB]	0.669	0.669
Ganancia de Ant Tx [dBd]	16	0
Ganancia de Ant Rx [dBd]	0	16
NS Mínimo (Sensibilidad) [dBm]	-103	-114
Pérdida máxima por propagación [dB]	138.231	138.231

Distancia máxima del móvil a la RBS [Km]: 1.0593

Entiendo el parámetro de la distancia máxima del móvil a la radio base se procede a calcular el área de cobertura por célula

$$A = \pi r^2$$

donde $r = 1.0593$ Km.

$$A = 3.5252299438191 \text{ [Km}^2\text{]}$$

Lo siguiente por realizar es calcular el número de células por región necesarias para cubrir el área de cobertura utilizando la formula 3.24.

$$\frac{\text{Área(región)}}{\text{Área(célula)}} = \text{Número de células}$$

Calculando el número de células por región:

Región 1:

siguiendo la formula 3.24 donde $\text{área(región1)} = 76 [\text{Km}]$ y $\text{área(célula)} = 3.5252299438191 [\text{Km}]$,

$$76 [\text{Km}] / 3.5252299438191 [\text{Km}] = 22$$

Región 2:

$\text{área(región1)} = 48 [\text{Km}]$

$\text{área(célula)} = 3.5252299438191 [\text{Km}]$

$$48 [\text{Km}] / 3.5252299438191 [\text{Km}] = 14$$

Región 3:

$\text{área(región1)} = 38 [\text{Km}]$

$\text{área(célula)} = 3.5252299438191 [\text{Km}]$

$$38 [\text{Km}] / 3.5252299438191 [\text{Km}] = 11$$

Región 4:

$\text{área(región1)} = 30 [\text{Km}]$

$\text{área(célula)} = 3.5252299438191 [\text{Km}]$

$$30 [\text{Km}] / 3.5252299438191 [\text{Km}] = 9$$

Nota: los número de células no fueron exactos por lo que se redondea al siguiente número mayor.

El siguiente paso consiste en calcular el número de circuitos o canales (en este caso) que son necesarios para cubrir con la demanda de tráfico para cada región. Para esto se necesita saber la calidad de servicio que se va a proveer a los suscriptores, o sea con que porcentaje, las llamadas realizadas no van a poder realizarse por falta de recursos.

El procedimiento es el siguiente, suponiendo un nivel de servicio del 1.5%, y utilizando los datos una tabla de erlangs y con los erlangs que corresponden a cada región se obtiene el número de canales por región. Posteriormente con esta información y teniendo el número de células por región se calcula el número de canales por célula

Se parte de la siguiente tabla de datos para un nivel de servicio de 1.5% (tabla 7.9)

Diseño de sistemas de telefonía celular

Erlangs	0.012	0.19	0.535	0.992	1.52	2.11	2.74	3.4	4.09	4.81
Canales	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erlangs	5.54	6.29	7.05	7.82	8.61	9.41	10.2	11.1	11.8	12.7
Canales	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Erlangs	13.5	14.3	15.2	16	16.9	17.8	18.6	19.5	20.4	21.2
Canales	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Erlangs	22.1	23	23.9	24.8	25.6	26.5	27.4	28.3	29.2	30.1
Canales	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Tabla 7.9. Erlangs por número de circuito

Se obtiene el número de circuitos para cada región, y a través de operación.

$$\frac{\text{No Circuitos(región)}}{\text{No Células}} = \text{No Circuitos(célula)}$$

Región 1:

No circuitos por región: 35

No células: 22

$$35 / 22 = 2$$

Región 2:

No circuitos por región: 18

No células: 14

$$18 / 14 = 2$$

Región 3

No circuitos por región: 15

No células: 11

$$15 / 11 = 2$$

Región 4:

No circuitos por región: 4

No células: 9

$$4 / 9 = 1$$

Nota: Ya que los resultados no son números enteros, se redondea al siguiente número mayor.

Interpretando los resultados obtenidos, se podría afirmar que la configuración de la radio base consistiría de una antena omnidireccional y en cada radio base el número de circuitos correspondiente a la zona, pero en la realidad este tipo de configuración no es empleada.

Se manejan configuraciones que obedecen a la siguiente fórmula a/b , donde a es el número de sectores en los que se divide la célula, que para el caso de una antena omnidireccional es 1, y b es el número de canales por sector donde b es múltiplo de 4. Por lo que ajustando valores quedarían de la forma que se presenta en la tabla 7.10

Región	Área [Km]	No. Células	No. Circuitos calculados por célula	No. Circuitos calculados por región	No. real de circuitos por célula	No. real de circuitos por región
1	76	22	2	44	4	88
2	48	14	2	28	4	56
3	38	11	2	22	4	44
4	30	9	1	9	4	36
Total	192	56		103		224

Tabla 7.10. Dimensionamiento

Por lo tanto la configuración de las radio bases, consiste de una antena omnidireccional y cuatro canales. Cada canal a su vez representa un E0 de información que va conectado a la central celular.

Se calculó un número de 224 canales en toda la red, que representan 224 E0's. Los cuales pueden ser soportados por una central celular ya que esta tiene una capacidad recomendada de 600 E0's

Algo importante que se debe mencionar, es que los cálculos de propagación se deben complementar con pruebas de campo (pruebas reales) ya que puede haber algunas diferencias entre los datos teóricos y la realidad. También debe tenerse en cuenta que el tráfico no es homogéneo en toda la zona por lo que en algunas áreas se requiera un incremento en la capacidad de tráfico.

CONCLUSIONES

Para el desarrollo del presente trabajo fue necesario remontarnos a varios temas vistos en la carrera por separado, en esta ocasión tuvimos la oportunidad de visualizar la forma en que se van conjuntando todos los conocimientos adquiridos y poder ver como trabajan juntos para conseguir brindar un servicio. En el caso de los sistemas de redes celulares fue necesario reunir conocimientos de filtros, de antenas, de modulación, de modelos de propagación, de estándares, etc., y no sólo de ellos ya que para llegar a un conocimiento de los mismos fue necesario primero contar con algunas herramientas matemáticas que quizás nunca pensamos nos llegaran a ser tan útiles y fueran las bases de sistemas que han beneficiado y hecho la vida más fácil a toda la humanidad.

Los sistemas de redes celulares han presentado una enorme evolución, en un muy corto periodo de tiempo, aún así los primeros sistemas aún siguen funcionando, por ejemplo en México, se sigue empleando el AMPS, sistema analógico con el que se empezó a dar servicio no hace muchos años. Este tipo de sistemas es la base de los sistemas actuales e incluso de los que están por venir. Fue ahí donde surgieron conceptos fundamentales de la telefonía celular, como lo son: la división del área de cobertura en células, el reuso de frecuencias, la transferencia de llamada, el roaming, etc.

Todos estos conceptos no han cambiado, y fue gracias a ello que se pudo hacer un análisis general del diseño de redes celulares, es importante mencionar que cada tipo de sistema (AMPS, TDMA, CDMA, GSM, etc.) presentan características que los difieren a uno de otro, y en cada tipo de sistema hay ciertos puntos delicados en los cuales es necesario estudiar más a detalle en algunos sistemas que en otros, por ejemplo mientras la interferencia de canal adyacente es un punto muy delicado en TDMA, o en AMPS, en CDMA no es así.

En cuanto al diseño de redes celulares podemos mencionar que son muchos los factores que intervienen y que pueden ser considerados. Pero uno de los más importantes es la experiencia, principalmente respecto a la tecnología a utilizar. Debido a lo extenso y complejo que puede llegar a hacer un diseño de una red completa, es necesario formar grupos de trabajo que se encargarán sólo de alguna parte del diseño en la que se harán especialistas y al final al conjuntar a todas las áreas tener el mejor diseño desde todos los puntos de vista.

De acuerdo a lo visto en el trabajo, podemos llegar a entender lo complejo que es el diseño de sistemas de redes celulares, donde se requiere gente especializada en cada una de las diversas partes que componen al sistema.

Es posible distinguir y considerar tres puntos de vista básicos de los sistemas celulares. Aunque son diferentes entre ellos, el sistema es el mismo, es por ello que consideramos interesante enumerarlos a continuación:

- Investigación.
- Implantación y mantenimiento.
- Usuarios finales.

Investigación

Se da principalmente en Universidades, centros de investigación o empresas y se encargan de perfeccionar, e innovar cada pequeña parte del rompecabezas, en muchas ocasiones a este nivel no se le ve aplicación práctica a todos esos desarrollos, pero sin duda es la piedra angular de toda la tecnología con la que se cuenta en la actualidad, y es ahí donde se están haciendo los desarrollos que nos permitirán en un futuro hacer posible todo aquello que alguna vez se pudo considerar sólo parte de una historia de ciencia-ficción.

Está por demás señalar que es de extrema importancia el que se mantenga y se impulse la investigación. Es quizás el aspecto con el que más nos podemos identificar al momento de egresar de la carrera.

Implantación

En segundo lugar podemos ubicar a las empresas, aquí nos podemos detener un poco y subdividirlo a su vez en el punto de vista de tres tipos de empresas.

Por una parte a las empresas proveedores de todos los equipos (radios, antenas, centrales, torres, terminales, etc.), a los operadores de redes celulares y a otras empresas dedicadas a actividades de outsourcing.

- **Proveedores de equipos**

Ellos no sólo deben ser especialistas en sus productos, sino que deben tener conocimientos de todo el sistema, con el fin de saber la forma en que van a interactuar sus productos con los de los demás proveedores, además de ello deben estar al pendiente de todos los estándares y normas de facto que van saliendo para este tipo de tecnología lo cual les permita producir equipos que cumplan con normas, protocolos y calidad internacionales, incluso de ser posible trabajar en el desarrollo de los mismos, lo que les proporcionará estar siempre a la vanguardia.

En muchas ocasiones el diseño de redes celulares desde este punto de vista está regido por alianzas, convenios, desarrollos propios, zonas geográficas, y por normas y organismos internacionales.

Generalmente estas empresas cuentan con un grupo de investigadores que les permite desarrollar tecnología propia (Por ejemplo CDMA de QUALCOMM), con lo cual pueden llegar a ser líderes en el mercado y también pioneros en nuevas tecnologías.

- **Operadores**

Generalmente su papel frente al diseño de redes celulares se ve limitado por la elección del o de los proveedores de equipos, por regulaciones nacionales (Por ejemplo en cuanto a la asignación de frecuencias), y/o por decisiones estratégicas (por ejemplo tipo de mercado, presupuesto, condiciones de la competencia, etc.)

De acuerdo a las experiencias recopiladas en la realización de este trabajo encontramos que en el caso de México, no son los operadores quienes hacen el diseño de las redes celulares, sino que son los proveedores (o empresas subcontratadas por ellos mismos) los que se encargan de ello (al menos en su fase inicial) desde su concepción hasta su puesta en operación. Durante este proceso van capacitando a personal de los operadores quienes se encargarán de futuros diseños y/o del mantenimiento de la red.

Respecto a esto ultimo, el mantenimiento de una red es de vital importancia, existen áreas dedicadas a la optimización de la red, y otras que se encargan de observar el comportamiento en general de la red, con el fin de prevenir posibles problemas y en dado caso que se generen, identificarlos y resolverlos de la forma más eficiente y fundamentalmente en el menor tiempo posible.

Dentro de las empresas operadoras se forman áreas con actividades diversas y bien definidas, el número de personas de cada área y las actividades de cada área varía entre empresa y empresa. Aunque la mayoría tiene alguna área relacionada directamente con el diseño, otra de monitoreo y mantenimiento, otra que hace el estudio de tráfico, otra dedicada a la optimización de la red, etc. Lo importante a señalar a este respecto es la relevancia que puede llegar a tener el contar con un área que se encargue de la investigación y estudio de otras tecnologías (entre ellas por supuesto las de la competencia) y sobre todo de las tendencias mundiales en cuanto a este tipo de sistemas.

Esto le puede dar a los operadores la capacidad de toma de decisiones en el momento de seleccionar tecnología y evitar con ello el "casarse" con algún proveedor, el adquirir equipos fuera de estándares internacionales e incluso tecnologías que no tienen un plan de desarrollo bien definido (Como es el caso actual de TDMA).

- ***Empresas dedicadas a outsourcing***

Generalmente son empresas que se dedican a realizar sólo una parte del proceso de puesta en operación de las redes celulares, en ocasiones son contratadas directamente por los operadores y en otros casos por los proveedores.

Probablemente en este grupo se puedan incluir empresas que podríamos considerar muy alejadas del diseño de redes celulares, como pueden ser las constructoras (si bien muchos operadores cuentan con su propia área), o empresas dedicadas a hacer los trámites para conseguir permisos, sin embargo es también dentro de esta clasificación donde se pueden encontrar las empresas con mayor experiencia en el diseño de redes celulares.

Esté último caso se da en empresas que se dedican a hacer no sólo estudios de sitio, sino puesta en operación de redes completas, su ventaja es la capacidad de trabajar con tecnologías de diversos proveedores y en todas las posibles condiciones de mercado y de situación geográfica. Esto les da una muy amplia experiencia, que como se vio a lo largo del trabajo es un punto muy importante en el diseño de redes celulares.

Usuarios finales

En tercer lugar, después de la parte de investigación, y de la parte de implantación (principal foco de este trabajo) se encuentran los usuarios finales, para ellos tal vez no es de gran importancia si detrás del servicio que se les esta brindando, se cuenta con la más alta tecnología, o con el mejor diseño. Sin embargo estos dos factores en un inicio casi sin importancia para el usuario final son factores de un tercero que realmente sí le es de interés, y es la calidad del servicio que se le brinde.

Son ellos el motivo del diseño, y es por ello que deben ser contemplados al hacer el análisis de la puesta en operación de una red, hacer estudios referentes a los gustos y necesidades de los usuarios, y el realizar el diseño contemplando dar determinada calidad de servicio a los usuarios.

Tercera Generación

Actualmente aún existen sistemas de 1ª. Generación, los sistemas de 2ª. Generación están en su fase de madurez y en cuanto a lo que nos espera para el futuro, se escucha ya cada vez con mas frecuencia la llegada de los sistemas de tercera generación (NTT DoCoMo planea hacer el lanzamiento de estos sistemas en Mayo del 2001), sistemas con los cuales podremos tener aplicaciones de grandes anchos de banda.

En cuanto a estos sistemas se ha hablado mucho, al inicio se deseaba tener un solo estándar que permitiera la comunicación de todos los sistemas del mundo. Frente a ello se presentaron múltiples inconvenientes:

- a) Los operadores no desean "tirar a la basura" la inversión que hicieron con sistemas de 2ª generación.
- b) No se pudo encontrar una adecuada y única banda de frecuencias que estuviera libre en todo el mundo.

La opción que se ha tomado son varios rangos de frecuencia para esta generación, y una evolución planeada desde cada uno de los sistemas actuales de 2ª generación hacia 3G.

Dicha evolución se contempla principalmente desde dos puntos de vista: Desde CDMA y desde GSM, el porque de ello es porque son las más empleadas. CDMA es una de las tecnologías de mayor uso en prácticamente todo el mundo (salvo en Europa), hoy en día muchas de las redes que se están implementando, son redes CDMA. El caso de GSM es muy especial dentro del mundo de las comunicaciones, ya que fue una norma por consenso, diseñada para trabajar como el estándar en Europa, todo esto mientras que en América y Asia se dejaba la elección de la tecnología a otros factores, como el mercado. Esto le permitió a GSM una evolución sólida, definida y bajo estándares internacionales.

En cuanto al caso de TDMA, el cual es muy importante para toda América, ya que muchas de las redes aquí son de ese tipo, TDMA se enfrenta a un gran problema y es el de no tener un plan de desarrollo perfectamente definido, en especial en cuanto al desarrollo de terminales. En su camino a tercera generación se le unirá a GSM en una fase denominada EDGE, el problema que se tiene es que no hay aún un camino perfectamente definido que lo lleve ahí, de aquí que algunos operadores en E.U. y Latinoamérica estén optando por una migración de sus redes a GSM y de ahí evolucionar a 3G. En cuanto a las terminales, casi todo el desarrollo que se hace al respecto en el mundo se enfoca a CDMA y GSM, por lo que los operadores con TDMA tienen que esperar a que se hagan las modificaciones a las terminales GSM (Con las cuales hay grandes similitudes). Esto los lleva a estar siempre un paso atrás de sus competidores, y desde el punto de vista de negocios y estratégico, esto es definitivamente poco aceptable.

Tanto GSM como CDMA contemplan su llegada a tercera generación, no sin antes pasar por etapas intermedias que le permitan a los operadores seguir brindando un servicio y utilizando al menos por un tiempo parte del equipo de segunda generación. A estas generaciones se les ha llamado tecnologías de generación 2.5

La principal característica de generaciones de este tipo, es el contar con una red de paquetes de un mayor ancho de banda que las actuales. Esto permitirá a los operadores el brindar servicios de mayor ancho de banda en un menor tiempo que el que les tomaría esperar a que tengan 3G.

Actualmente se han empezado a implementar este tipo de redes en el mundo como pruebas piloto, así que se espera que en un futuro no muy lejano se pueda contar con servicios de generación 2.5. Algunos de esos servicios ya se han empezado a proporcionar bajo redes de paquetes de 2ª. Generación, como son el Internet a través de la tecnología llamada WAP, servicios de localización, juegos, etc. El contar con un mayor ancho de banda y mejores terminales hacen que se empiece a trabajar en servicios que actualmente solo podemos imaginar debido al poco ancho de banda con que se cuenta, como son servicios de vídeo, navegación con mapas y direcciones, la videoconferencia, etc.

Uno de los procesos que se están generando mundialmente y que por supuesto se ha dado en el mundo de las telecomunicaciones, y para ser más exactos en relación a operadores celulares, es la fusión y/o creación de alianzas entre empresas. Durante la realización de este trabajo fuimos testigos de la fusión y creación con ello de la empresa operadora más grande de E.U. Verizon, quien surgió de la unión de GTE y Bell Atlantic. De la misma manera pudimos ver la adquisición del 20% de las acciones de ATT Wireless por parte de NTT DoCoMo, operador líder en Japón y ejemplo a seguir en cuanto a crecimiento y ofrecimiento de servicios de Internet inalámbrico. En el caso de México se la separación de Telcel de Telmex (Telcel junto con otras operadoras de grupo Carso de Latinoamérica recibirán el nombre de América Móvil). La entrada al mercado mexicano de dos de los más grandes operadores móviles del mundo, por una parte Telefónica de España, quien adquirió a varias de las empresas del norte con concesión en la banda de 800 MHz. Y por otra parte de Vodafone quien adquirió alrededor de la tercera parte de las acciones de Iusacell.

Lo anterior nos da una idea de la forma en que se están dando los movimientos entre empresas del ramo a nivel mundial, nos permite tener una visión de hacia donde se dirigen los nuevos servicios y plataformas tecnológicas y nos hace contemplar, ya no sólo la parte de ingeniería (la cual sin duda reviste una importancia fundamental), sino también todos los efectos sociales, políticos y económicos que rodean a todos y cada uno de los proyectos tecnológicos mismos.

Al realizar el presente trabajo tuvimos la oportunidad de darnos cuenta de cómo en un solo tipo de sistemas de telecomunicaciones, se van complementando todos los conocimientos adquiridos e incluso vistos como aislados. También nos permitió ver a los sistemas de telecomunicaciones, como sistemas en donde se requiere de gente de muchas ramas del conocimiento.

Un aspecto importante fue el poder ver la importancia de seguir ciertos parámetros y normas dentro del diseño de un sistema que se realiza entre diversos grupos de personas, al final de cuentas es un trabajo en equipo, y el trabajo que haga en cada área es tan importante como la interacción con las demás áreas para poder después unir todo.

Finalmente, pero no de menor importancia, la realización del presente trabajo nos dio una visión de las telecomunicaciones desde el punto de vista de la telefonía móvil, su interrelación con otros sistemas como la telefonía satelital, la forma en que se esta moviendo el mundo de las redes celulares en el mundo, la manera en que la investigación científica se convierte en tecnología para facilitarle la vida al ser humano (en este caso para comunicarlo mejor), pero sobre todo nos permitió darnos cuenta que teníamos las herramientas necesarias para incorporarnos a cualquier área que nos interese de las telecomunicaciones.

En conclusión, creemos haber cumplido con el propósito de este trabajo de tesis, que no solo fue el dar una visión panorámica de como se ha desarrollado la telefonía celular en México, lo que se puede esperar y una visión global de los principios de la telefonía celular; sino que también expusimos las principales etapas de desarrollo de un sistema celular desde sus inicios para una red nueva, o actualizaciones y ampliaciones para un sistema ya existente. También demostramos que podemos crear herramientas que facilitan nuestras tareas, y ayudan a desempeñarnos mejor en nuestro trabajo y vida diaria, el cual es un propósito general de la ingeniería. Un ejemplo de esto es la herramienta que creamos para realizar los cálculos de enlace, en la cual conjuntamos conocimientos adquiridos en la escuela y conocimientos que hemos adquirido por nuestra parte.

Anexo A

A-1 Herramienta para el Cálculo de enlace.

Hemos visto en este trabajo puntos importantes dentro del diseño de un sistema de telefonía celular, que influyen mucho en las características finales de la red. Y un punto de estos es la planeación de la célula, tanto su cobertura como su configuración tecnológica, y dimensionamiento

Como ayuda en la realización de este trabajo de tesis, realizamos una herramienta de cómputo que nos ayudara a calcular el radio de la célula utilizando algunos de los diferentes métodos de cálculo de enlace descritos en esta tesis.

Calculo de enlace
[-] [x]

Cálculo de enlace
Ayuda

Calculo de enlace

Frecuencia del enlace f₀ [MHz]

Altura efectiva de la antena del móvil h_{mo} [m]

Altura efectiva de la antena de la RBS h_{re} [m]

Motología

Área de la zona

Enlace de subda

Potencia Tx [dBm]

Ganancia de Ant. Tx [dB]

Ganancia de Ant. Rx [dB]

Pérdida por L. T. [dB m/100 m]

Longitud de la L. T. [m]

Pérdida total por L. T. [dB]

Pérdida por jumper [dB]

Número de jumpers

Pérdida total por jumper [dB]

NS. Mínimo (Sensitividad) [dBm]

Enlace de baada

Pérdida total por propagación [dB]

Método

Descripción

Banda

Resultados

Radio de la célula [Km]

Área por célula (km²)

Esta herramienta es un programa muy amigable en Visual Basic, en que introducimos algunos parámetros (como frecuencia, altura de la torre, etc.) y otros ya están definidos (datos de equipos), y presenta como resultados el radio de la célula y el área que cubre esta misma

Este programa como se muestra en la figura A-1, consta de una área de menús, en donde se puede seleccionar el método a utilizarse para realizar el cálculo de enlace, un área de datos generales en el que se deben de introducir datos como potencias de los equipos, así como alturas, etc.; otra área referida al método que se selecciono, aquí se describe el método y los cada uno de los parámetros que se emplean en él. Y por último un área de resultados.

A-2 Código fuente.

```
Dim Numero As Integer
Dim arc As Integer
Dim L As Double
Dim fc As Double
Dim e As Double
Dim nod As Double
Dim i As Integer
```

Sub reseteo()

```
dat_gendat_fc.Text = ""
dat_datgen_hte.Text = ""
dat_datgen_are.Text = ""
com_datgen_morfo.Text = ""
dat_datgen_upganantx.Text = ""
dat_datgen_upperlt.Text = ""
dat_datgen_uplonlt.Text = ""
dat_datgen_upperjum.Text = ""
dat_datgen_upnumjump.Text = ""
eti_datgen_dlns.Caption = ""
eti_datgen_uppertotlt.Caption = ""
eti_datgen_uppertojum.Caption = ""
eti_datgen_uppertotprop.Caption = ""
eti_datgen_dlganantx.Caption = ""
eti_datgen_dlperlt.Caption = ""
eti_datgen_dllonglt.Caption = ""
eti_datgen_dlpertotlt.Caption = ""
eti_datgen_dlperjum.Caption = ""
eti_datgen_dlnumjum.Caption = ""
eti_datgen_dlpertojum.Caption = ""
```

```

eti_datgen_dpertotprop.Caption = ""
eti_resul_rario.Caption = ""
eti_resul_area.Caption = ""
Picture2.Picture = LoadPicture
dat_ikegami_hB.Text = ""
dat_ikegami_w.Text = ""
dat_ikegami_ang.Text = ""
dat_sakagami_ang.Text = ""
dat_sakagami_hB.Text = ""
dat_sakagami_H.Text = ""
dat_sakagami_hs.Text = ""
dat_sakagami_w.Text = ""
com_quick_banda.Text = ""
fra_datgen.Enabled = False
fra_datgen.Visible = False
fra_metodo.Enabled = False
fra_metodo.Visible = False
fra_infoad_ikegami.Enabled = False
fra_infoad_ikegami.Visible = False
fia_sakagami_infoad.Enabled = False
fra_sakagami_infoad.Visible = False
com_quick_banda.Text = ""
com_quick_banda.Enabled = False
com_quick_banda.Visible = False
eti_quick_banda.Enabled = False
eti_quick_banda.Visible = False
eti_nodos.Visible = False
eti_nodos.Enabled = False
Label1.Visible = False
Label1.Enabled = False
eti_nodos.Caption = ""
Numero = 0
HScroll1.Max = 0
VScroll1.Visible = 0
HScroll1.Visible = 0
VScroll1.Max = 0
End Sub

```

```

Sub imagen(metodo As String)
    archivo = "C:\Archivos de Programa\programatesis\\" + metodo
    Picture2.Picture = LoadPicture(archivo)
    HScroll1.Max = Picture2.Width - Picture1.Width
    VScroll1.Visible = (Picture1.Height > Picture2.Height)
    HScroll1.Visible = (Picture1.Width > Picture2.Width)
    VScroll1.Max = Picture2.Top - Picture2.Height + 50
End Sub

```

```

Private Sub bot_datgen_calcu_Click()
    Lt = dat_datgen_upperlt.Text * dat_datgen_uplonlt.Text / 100
    eti_datgen_uppertotlt.Caption = Lt
    Ljum = dat_datgen_upperjum.Text * dat_datgen_upnumjump.Text
    eti_datgen_uppertotjum.Caption = Ljum
    eti_datgen_uppertotprop.Caption = Ltpro
    eti_datgen_dlganantx.Caption = dat_datgen_upganantx.Text
    eti_datgen_dlperlt.Caption = dat_datgen_upperlt.Text
    eti_datgen_dllonglt.Caption = dat_datgen_uplonlt.Text
    eti_datgen_dlpertotlt.Caption = Lt
    eti_datgen_dlperjum.Caption = dat_datgen_upperjum.Text
    eti_datgen_dinumjum.Caption = dat_datgen_upnumjump.Text
    eti_datgen_dlpertotjum.Caption = Ljum
    eti_datgen_dlpertotprop.Caption = Ltpro
    If com_datgen_morfo.Text = "Urbana" Then
        eti_datgen_dlns.Caption = -114
    Else
        eti_datgen_dlns.Caption = -104
    End If
End Sub

```

```

Private Sub boton_calcular_Click()
    conta = 1
    If dat_gendat_fc.Text = "" Then
        conta = 0
    End If
    If dat_datgen_hte.Text = "" Then
        conta = 0
    End If
    If com_datgen_morfo.Text = "" Then
        conta = 0
    End If
    If dat_datgen_upganantx.Text = "" Then
        conta = 0
    End If
    If dat_datgen_upperlt.Text = "" Then
        conta = 0
    End If
    If dat_datgen_uplonlt.Text = "" Then
        conta = 0
    End If
    If dat_datgen_upperjum.Text = "" Then
        conta = 0
    End If
    If dat_datgen_upnumjump.Text = "" Then
        conta = 0
    End If

```



```

If conta = 0 Then
    MsgBox ("Faltan parametros")
Else
    e = 2.3 0258509299405
    If Numero > 0 Then
        Llt = dat_datgen_upperlt.Text * dat_datgen_uplonlt Text / 100
        eti_datgen_uppertotlt.Caption = Llt
        Ljum = dat_datgen_upperjum.Text * dat_datgen_upnumjum.Text
        eti_datgen_uppertotjum.Caption = Ljum
        eti_datgen_uppertotprop.Caption = Ltpro
        eti_datgen_dlganantx.Caption = dat_datgen_upganantx Text
        eti_datgen_dlperlt.Caption = dat_datgen_upperlt.Text
        eti_datgen_dllonglt.Caption = dat_datgen_uplonlt Text
        eti_datgen_dlpertotlt.Caption = Llt
        eti_datgen_dlperjum Caption = dat_datgen_upperjum.Text
        eti_datgen_dlnumjum.Caption = dat_datgen_upnumjum Text
        eti_datgen_dlpertotjum.Caption = Ljum
        eti_datgen_dlpertotprop.Caption = Ltpro
        Ltot = eti_datgen_uppottx.Caption - Ljum - Llt + (dat_datgen_upganantx.Text - 2 1) -
        dat_datgen_upns.Text
        eti_datgen_dlpertotprop.Caption = Ltot
        eti_datgen_uppertotprop.Caption = Ltot
        fia_resul.Visible = True
        fra_resul.Enabled = True

        If com_datgen_morfo.Text = "Urbana" Then
            eti_datgen_dlms.Caption = -114
            nsmindw = -114
        Else
            eti_datgen_dlms.Caption = -104
            nsmindw = -104
        End If

        eti_datgen_dlpottx.Caption = Ltot + Ljum + Llt - (eti_datgen_dlganantx.Caption - 2 1) -
        nsmindw
    End If

```

'Hata

If Numero = 2 Then

fc = dat_gendat_fc.Text
 hB = dat_datgen_hte.Text
 hm = eti_datgen_hre.Caption
 area = com_datgen_morfo.Text

If fc <= 1500 Then

If area = "Urbana" Then
 $c = 3.2 * (\text{Log}(11.75 * 1.6)) ^ 2 - 4.97$
 Else
 $c = (1.1 * \text{Log}(fc) / e - 0.7) - (1.56 * \text{Log}(fc) / e - 0.8)$
 End If

 $a = \text{Log}(fc) / e$
 $b = \text{Log}(hB) / e$
 $R = 10 ^ ((\text{Ltot} - 69.55 - 26.16 * a + 13.87 * b + c) / (44.9 - 6.55 * b))$

Else

MsgBox ("Frecuencia fuera de rango")

End If

End If

'caicy

If Numero = 3 Then

hB = dat_datgen_hte.Text
 $a = \text{Log}(hB) / c$
 $R1 = 10 ^ ((\text{Ltot} - 110.7 + 19.1 * a) / 55)$
 $R2 = 10 ^ ((\text{Ltot} - 91.8 + 18 * a) / 66)$

If R1 < 48 Then

R = R1

Else

If R2 < 48 Then

R = R2

Else

R = R1

End If

End If

End If

' Mc Grejam & Griffthis

```

If Numero = 4 Then

    fc = dat_gendat_fc.Text
    hB = dat_datgen_hte.Text
    hm = dat_datgen_hre.Text
    area = com_datgen_morfo.Text
    a = Log(fc) / e
    b = Log(hB * hm) / e
    If area = "Urbana densa" Then
        c = 45
    End If
    If area = "Urbana" Then
        c = 55
    End If
    If area = "Rural" Then
        c = 65
    End If
    R = 10 ^ ((Ltot - 120 + 20 * b - 30 * a - c) / 66)
End If

```

' Cost 231 Hata

```

If Numero = 6 Then

    fc = dat_gendat_fc.Text
    hB = dat_datgen_hte.Text
    hm = eti_datgen_dathre.Caption
    area = com_datgen_morfo.Text
    If fc > 1500 Then
        a = Log(fc) / e
        b = Log(hB) / e
        If area = "Urbana densa" Then
            cm = 3
            ahre = 3.2 * Log(11.75 * hm) ^ 2 - 4.97
        Else
            cm = 0
            ahre = (1.1 * a - 0.7) * hm - (1.56 * a - 0.8)
        End If
        R = 10 ^ ((Ltot - 46.3 - 33.9 * a + 13.82 * b + ahre - cm) / (44.9 - 6.55 * b))

    Else
        eti_datgen_mansa.Text = "Frecuencia fuera de rango"
    End If
End If

```

```
' sakagami
```

```
If Numero = 8 Then
```

```
fc = dat_gendat_fc.Text
hB = dat_sakagami_hB.Text
hbo = dat_datgen_hte Text
H = dat_sakagami_H.Text
hs = dat_sakagami_hs.Text
hm = dat_datgen_hre Text
w = dat_sakagami_w.Text
ang = dat_sakagami_ang Text
If fc > 1500 Then
    a = Log(fc) / e
    b = Log(hB) / e
    c = Log(w) / e
    d = Log(hs) / e
    v = Log(H) / e
    u = Log(hbo) / e
```

```
    R = 10 ^ (((Ltot - 100 + 7.1 * c - 0.023 * ang - 1.4 * d - 6.1 * v + u * (24.37 - 3.1 * (H / hbo) ^ 2) - 20 * a - Exp(13 * (a - 3.23))) / (43.2 - 3.1 * (H / hbo) ^ 2))
```

```
Else
    MsgBox ("Frecuencia fuera de rango")
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
'ikegami
```

```
If Numero = 9 Then
```

```
fc = dat_gendat_fc.Text
hB = dat_ikegami_hB.Text
hm = dat_datgen_hre Text
w = dat_ikegami_w.Text
ang = dat_ikegami_ang Text
lr = 3.2
```

```
If fc > 1500 Then
    a = Log(fc) / e
    b = Log(hB - hm) / e
    c = Log(w) / e
    d = Log(Sin(ang)) / e
    v = Log(1 + 3 / (lr) ^ 2) / e
```

```
    R = 10 ^ (((Ltot - 26.65 - 30 * a + 10 * v + 10 * c - 20 * b - d) / 20)
```

```
End If
```

```

'quick
If Numero = 10 Then
  If com_quick_banda.Text = 800 Then
    R = 10 ^ ((Ltot - 121) / 36)
  End If
  If com_quick_banda.Text = 1900 Then
    R = 10 ^ ((Ltot - 130) / 40)
  End If
End If

Acell = 3.141509 * (R ^ 2)
If dat_datgen_are.Text > 0 Then
  If Acell = 0 Then
    Else

      nodos = dat_datgen_are.Text / Acell
      MsgBox (nodos)
      For i = 0 To 100
        If i > nodos Then
          nod = i
          i = 100
        End If
        MsgBox (i)
      Next
      nod = nodos
      'MsgBox (nod)
      'MsgBox (nodos)
      eti_nodos.Visible = True
      eti_nodos.Enabled = True
      Label1.Visible = True
      Label1.Enabled = True
      eti_nodos.Caption = nod + 1
    End If
  End If
  MsgBox (R)
  MsgBox (Acell)
  eti_resul_rario.Caption = R
  eti_resul_area.Caption = Acell
End If
End If
End Sub

```

```
Private Sub menu_calen1_subbaj_Click()
```

```
    If Numero = 0 Then  
        Numero = 1  
        fra_datgen.Enabled = True  
        fra_datgen.Visible = True  
        fra_datgen_are.Enabled = False  
        fra_datgen_are.Visible = False  
        bot_datgen_calcu.Enabled = True  
        bot_datgen_calcu.Visible = True
```

```
    Else  
        'Private Sub reseteo()
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub dat_gendat_fc_LostFocus()
```

```
    MsgBox ("Si la Frecuencia no corresponde con los parámetros que se indican para cada método. los resultados pueden diferir mucho de la realidad")
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Picture1.ScaleMode = vbPixels
```

```
End Sub
```

```
Private Sub HScroll1_Change()
```

```
    Picture2.Left = -HScroll1.Value
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menu_calen1_nuevo_Click()
```

```
    menu_calen1_metodo.Enabled = True  
    menu_calen1_nuevo.Enabled = False  
    reseteo
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menu_cerrar_Click()
```

```
    Unload Calculo_de_enlace  
    End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menu_met_carey_Click()
```

```
    If Numero = 0 Then
        Numero = 3
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo Carey"
        menu_calen1_metodo.Enabled = False
        menu_calen1_nuevo.Enabled = True
        imagen ("carey.bmp")
    Else
        reseteo
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menu_met_costhata_Click()
```

```
    If Numero = 0 Then
        Numero = 6
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo Cost 231 Hata"
        menu_calen1_metodo.Enabled = False
        menu_calen1_nuevo.Enabled = True
        imagen ("COST231Hata.bmp")
    Else
        reseteo
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub menu_met_costw1_Click()
```

```
    If Numero = 0 Then
        Numero = 5
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo Cost231Walflke"
        imagen ("Cost231Walflke.bmp")
        menu_calen1_metodo.Enabled = False
        menu_calen1_nuevo.Enabled = True
    Else
        End If
```

```
End Sub
```

```

Private Sub menu_met_grejam_Click()
    If Numero = 0 Then
        Numero = 4
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo Mc Grejam&Griffthis"
        menu_calenl_metodo.Enabled = False
        menu_calenl_nuevo.Enabled = True
        imagen ("Mc.Grejam&Griffthis bmp")
    Else
        reseteo
    End If
End Sub

```

```

Private Sub menu_met_hata_Click()
    If Numero = 0 Then
        Numero = 2
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo Hata"
        menu_calenl_metodo.Enabled = False
        menu_calenl_nuevo.Enabled = True
        imagen ("hata.bmp")
    Else
        reseteo
    End If
End Sub

```



```

Private Sub menu_met_ikegami_Click()
    If Numero = 0 Then
        Numero = 9
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo IKEGAMI!"
        fra_infoad_ikegami.Visible = True
        fra_infoad_ikegami.Enabled = True
        imagen ("IKEGAMI.bmp")
        menu_calenl_metodo.Enabled = False
        menu_calenl_nuevo.Enabled = True
    Else
        reseteo
    End If
End Sub

```

```

Private Sub menu_met_quick_Click()
    If Numero = 0 Then
        Numero = 10
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo QUICK"
        eti_quick_banda.Visible = True
        eti_quick_banda.Enabled = True
        com_quick_banda.Visible = True
        com_quick_banda.Enabled = True
        imagen ("quick.bmp")
        menu_calenl_metodo.Enabled = False
        menu_calenl_nuevo.Enabled = True
    Else
        reseteo
    End If
End Sub

```

```
Private Sub menu_met_sakagami_Click()

    If Numero = 0 Then

        Numero = 8
        fra_datgen.Enabled = True
        fra_datgen.Visible = True
        fra_metodo.Enabled = True
        fra_metodo.Visible = True
        fra_metodo.Caption = "Metodo SAKAGAMI"
        fra_sakagami_infoad.Visible = True
        fra_sakagami_infoad.Enabled = True
        menu_calenl_metodo.Enabled = False
        menu_calenl_nuevo.Enabled = True
        imagen ("SAKAGAMIKUBOI bmp")

    Else

        reseteo

    End If

End Sub

Private Sub VScroll1_Change()

    Picture2.Top = VScroll1.Value

End Sub
```

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliografía:

- Goodman David J., "Wireless Personal Communications Systems"; Addison Wesley; EUA 1997.
- Rappaport S Theodore, "Wireless Communications, Principles and Practice"; Prentice Hall; EUA 1999.
- Smith Clint, "Practical Cellular and PCS design", McGraw-Hill, EUA 1998

Manuales:

- Documento para cálculo de enlace, operador de telefonía celular en México.
- Documentos del procedimiento de implantación de sitios celulares, operador de telefonía celular en México.
- Manual de RF TDMA (proveedor de equipo de RF)
- Manual de RF CDMA (proveedor de equipo de RF)
- Manual de RF GSM (proveedor de equipo de RF)

Revistas y artículos especiales:

- ESCALA, Num 136, AEROMÉXICO, SKYTEAM; Noviembre 2000, Pags 72-78
- Plataforma Newbridge para las nuevas generaciones de telefonía celular. 3G Comunicación Inalámbrica Newbridge Networks Corporation Gustavo H. Tonini. 1-18 Pags.
- Adelantos de la Industria de Computo Informe de los Negocios de Computación y Tecnologías de la Información Jueves 7 de Septiembre, 2000 Idagular@adatel.net.mx

URL's:

- <http://www.cft.gob.mx>
- <http://www.usacell.com.mx>
- <http://www.telcel.com>
- <http://www.pegasops.com.mx>
- <http://dailynews.yahoo.com>
- <http://www.yankeegroup.com>
- <http://www.wapforum.org>
- <http://www.wow-com.com>
- <http://www.telecoms-data.com/mex.pdf>
- <http://www.analysis.com>
- <http://www.ericsson.com/siteindex.shtml>
- <http://nmc.et.tudelft.nl/~frts/1/rlang.htm>
- <http://www.itu.int/itu-d/dept/psp/sst/plantit/plandoc/erlangt-es.html>
- <http://www1.internet.gi/users/ametsi/erlang/erlang.htm>
- <http://www.cnp-wireless.com/tdma.html>
- <http://www.ip-funds.com/stocks.html>
- <http://www.cognitives.com/cognitives/wirelink.html>