



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE TELEFONIA CELULAR

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P r e s e n t a n:
RAFAEL AVENDAÑO MARTINEZ
EDUARDO LARRE MANRIQUEZ
JOSE RAMOS MORENO RAMIREZ
EDUARDO SANTAMARIA GONZALEZ



Director de Tesis:
M. en I. Juan Carlos Roa B.

México D.F. 1993

**TESIS CON
FALLA DE OR.GEN**



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 está 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.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	vi
------------------------	----

CAPITULO I.- CONCEPTOS GENERALES

1.1.- DESCRIPCION DE LA TELEFONIA CELULAR	1
1.1.1.- ANTECEDENTES (TELEFONIA MOVIL)	1
1.1.2.- FUNCIONAMIENTO BASICO DE UN SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR	8
1.2.- DIFERENTES TIPOS DE SISTEMAS CELULARES	18
1.2.1.- SISTEMAS PRECELULARES	18
1.2.2.- SISTEMAS CELULARES	19
1.2.3.- TACS / ETACS	20
1.2.4.- NMT450 / NMT900	20
1.2.5.- AMPS.	21
1.2.6.- OTROS	21
1.2.7.- COMPARACION TECNICA	23
1.3.- ELEMENTOS DE RADIOPROPAGACION APLICADOS A LA TELEFONIA CELULAR.	32
1.3.1.- ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIAS	32
1.3.2.- DEFINICION DE LAS UNIDADES MAS UTILIZADAS	38
1.3.3.- INTERFERENCIA Y RELACION SEÑAL A RUIDO	41
1.3.4.- MODULACION	45
1.3.4.1.- TIPOS DE MODULACION	45
1.3.5.- TIPOS DE MODULACION EMPLEADOS EN TELEFONIA CELULAR	49
1.3.6.- DIFERENTES TRAYECTORIA DE PROPAGACION.	55
1.3.7.- MODELO PARA CALCULO DE PERDIDAS POR PROPAGACION EN TELEFONIA CELULAR	63

CAPITULO II.- DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR

II.1.- ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR	69
II.1.1.- EL MSC O CONMUTADOR CELULAR DIGITAL	69
1.1.1.1.- TIPOS DE CONMUTADORES	70
1.1.1.2.- TRANSMISION Y TRONCALIZACION	77

II.1.1.3.- JERARQUIA DE CONMUTACION	79
II.1.2.- ESTACION RADIOBASE	82
II.1.2.1.- LLAMADA A UNA ESTACION MOVIL	82
II.1.2.2.- LLAMADA ORIGINADA POR UN MOVIL	83
II.1.2.3.- LLAMADA DE UN TELEFONO MOVIL A OTRO	87
II.1.2.4.- HANDOFFS	88
II.1.2.5.- FORMATO DE SEÑALIZACION AMPS	89
II.1.2.6.- PARAMETROS RELACIONADOS CON LA INTENSIDAD DE LA SEÑAL	93
II.1.3.- ESTACIONES MOVILES	96
II.2.- ELEMENTOS ADICIONALES EMPLEADOS EN EL SISTEMA	101
II.2.1.- MICROCELULAS	101
II.2.1.1.- ANALISIS DE LA CAPACIDAD Y CALIDAD DE LA VOZ	104
II.2.1.2.- HANDOFFS	107
II.2.1.3.- CAPACIDAD DEL SISTEMA	110
II.2.1.4.- ATRIBUTOS DE LA MICROCELULA	111
II.2.1.5.- CONFIGURACION DE LA MICROCELULA	113
II.2.2.- REPETIDORES CELULARES	118
II.2.2.1.- REPETIDOR TIPO BBR (CER)	119
II.2.2.2.- REPETIDOR TIPO CRR	127
II.3.- ANTENAS	131
II.3.1.- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	131
II.3.2.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES	134
II.3.2.1.- INTENSIDAD DE RADIACION	138
II.3.2.2.- DIRECTIVIDAD	138
II.3.2.3.- DIRECTIVIDAD Y GANANCIA	139
II.3.2.4.- POLARIZACION	139
II.3.2.5.- AREA DE EMISION (O ANGULO SOLIDO DE EMISION)	140
II.3.2.6.- ALTURA EFECTIVA	145
II.3.3.- ANTENAS UTILIZADAS EN TELEFONIA CELULAR	148
II.3.3.1.- CONFIGURACION ANORMAL DE ANTENAS	149
II.3.3.2.- ANTENAS DIRECCIONALES	151
II.3.3.3.- CONFIGURACION DE UN SISTEMA MADURO	151

	Pág.
II.3.3.4.- DIRECTIVIDAD DE ESPACIO EN SITIOS CELULARES	156
II.3.3.5.- REDUCCION DE INTERFERENCIA ENTRE ANTENAS	159
II.3.3.6.- ANTENAS MOVILES	161
II.3.3.6.1.- ANTENAS MONTADAS EN TECHOS	161
II.3.3.6.2.- ANTENAS MONTADAS EN CRISTALES	161
II.4.- INTERCONEXION DE LA RED DE TELEFONIA CELULAR	163
II.4.1.- TEORIA DE LOS SISTEMAS CELULARES	165
II.4.2.- TELEFONIA MOVIL AUTOMATICA.	169
II.4.3.- TELEFONIA MOVIL AUTOMATICA (TMA) CONEXION A LA RED PUBLICA	171
II.4.4.- SISTEMAS DE AMPLIOS HORIZONTES E INTENSIVOS.	174
 CAPITULO III.- PLANEACION, DIMENSIONAMIENTO Y CRECIMIENTO DEL SISTEMA CELULAR	
III.1.- ESTUDIO DE MERCADO POTENCIAL	178
III.1.1.- DIAGNOSTICO DE LA REGION, ZONA, CIUDAD O ESTADO	179
III.1.2.- ANALISIS DE VARIABLES	184
III.1.3.- CONCLUSIONES	204
III.2.- ESTUDIO GEOGRAFICO DEL LUGAR	213
III.2.1.- MAPA Y CARGA DEL USO DE LOS DATOS	213
III.2.2.- INSPECCION DE CAMPO	216
III.2.3.- INFORMACION DE MAPAS Y DIGITALIZACION	218
III.2.4.- PREPREDICION	220
III.2.5.- INSPECCION DE RADIO	220
III.2.5.1.- TIPOS DE INFORMACION RECOLECTADA	223
III.2.5.2.- PREDICION FINAL	225
III.2.5.3.- INSPECCION PARA LA SITUABILIDAD DE LA RADIOBASE	225
III.3.- ESTUDIOS DE PROPAGACION EN BASE A COMPUTADORA	228
III.4.- DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA	243
III.4.1.- DEFINICION DE TRAFICO	243
III.4.2.- COMPORTAMIENTO DEL TRAFICO	245

III.4.3.- GRADO DE SERVICIO	246
III.4.4.- CAPACIDAD DE UNA RADIOBASE	247
III.4.5.- EFICIENCIA DE TRUNCAMIENTO	251
III.4.6.- DIMENSIONAMIENTO DE RADIOBASES	252
III.5.- PATRON CELULAR A SEGUIR	258
III.5.1.- CONSIDERACIONES BASICAS	258
III.5.2.- ASIGNACION DE CANALES	261
III.5.3.- PLAN DE EXPANSION SUCESIVA	263
III.5.4.- CONSIDERACIONES PRACTICAS	267
III.6.- PLAN Y REUSO DE FRECUENCIAS	276
III.6.1.- PLANEACION CELULAR	276
III.6.2.- CONSIDERACIONES BASICAS	276
III.6.3.- EL PATRON DE 7 CELULAS	278
III.6.4.- CODIGOS DE SAT	283
III.6.5.- CODIGO DIGITAL DE COLORES (DCC)	284
III.6.6.- PATRON CELULAR DE 4 CELULAS	286
III.6.7.- PATRON CELULAR DE 12 CELULAS	287
III.6.8.- EL MODELO DE ESTOCOLMO	288
III.6.9.- DISTANCIA DE REUSO DE FRECUENCIAS	289
III.7.- ALTERNATIVA DEL USO DE LA BANDA EXPANDIDA	292
III.7.1.- ADMINISTRACION DE FRECUENCIAS	292
III.7.2.- NUMERACION DE CANALES	292
III.8.- PRUEBAS OPERATIVAS Y AJUSTES	295
III.8.1.- PRUEBAS DE INTERFERENCIA	295
III.8.2.- PRUEBAS DE COBERTURA	299
III.8.2.1.- MEDICION DE COBERTURA	299
III.8.2.2.- EQUIPO RSAT (REALTIME SYSTEM ANALYSIS TOOL)	301
III.8.2.3.- EQUIPO CELLUMATE (CM-1000)	302
III.8.2.4.- SISTEMAS DE NAVEGACION CON LOS QUE CUENTA EL EQUIPO	306

	Pág.
III.8.2.4.1.- ETAK (NAVIGATOR AND TRAVELPILOT)	306
III.8.2.4.2.- GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)	308
III.8.2.5.- HANDOFFS ENTRANTES Y SALIENTES	308
III.8.2.6.- POTENCIA E INCLINACION DE ANTENAS	310
CONCLUSIONES	311
GLOSARIO	313
BIBLIOGRAFIA	321

INTRODUCCION.

Desde el inicio de la historia, las comunicaciones han sido una herramienta indispensable y fundamental para el desarrollo y avances logrados hasta nuestros días. Actualmente se cuenta con diferentes medios de comunicación desarrollados por el hombre, que permiten una comunicación instantánea desde cualquier punto en que nos encontremos. Uno de estos medios que se está desarrollando de una manera importante en estos días, es la telefonía celular, ya que brinda una comunicación dinámica sin tener que estar forzosamente en un punto fijo.

Este trabajo pretende dar una visión general del diseño de un sistema de este tipo, tomando consideraciones tanto teóricas como prácticas, y facilitando a las personas relacionadas con este tipo de actividades el entendimiento en el funcionamiento del mismo.

El primer capítulo de esta tesis plantea el funcionamiento de un sistema de telefonía celular de una manera general, incluyendo una descripción de los conceptos, características y terminología básica, para el entendimiento posterior del contenido de la misma. Se analizan los aspectos históricos y evolución de estos sistemas. Este capítulo también comprende las diferencias entre los distintos tipos de sistemas que se encuentran trabajando actualmente, así como también la base teórica de radio propagación que es aplicada para el funcionamiento de los sistemas celulares.

El segundo capítulo presenta la descripción de un sistema celular mostrando detalladamente las diferentes partes de las cuales es compuesto, así como el funcionamiento de cada una de estas, incluyendo las diferentes tecnologías y equipos desarrolladas para la integración de los sistemas celulares, las cuales han tenido un avance paralelo a las modificaciones que han venido desarrollándose dentro de los sistemas celulares, finalizando con la interconexión que los sistemas celulares cuentan entre ellos mismos para la formación de una red y así como para el exterior con los sistemas telefónicos convencionales.

En el tercer capítulo se desarrollan los puntos considerados como fundamentales para la implantación de un sistema de telefonía celular, iniciando con el estudio del mercado potencial, con el fin de establecer, si es o no económicamente factible instalar un sistema en una área determinada. Siguiendo a esto se plantean los estudios geográficos del lugar, analizando las posibles irregularidades o problemas que se pudiesen presentar en el área de estudio, para la implantación de un sistema de comunicaciones de este tipo, lo cual es obtenido en base a programas de cómputo para así, finalmente, poder determinar la ubicación de radiobases considerando el brindar un óptimo servicio. Desarrollados los puntos anteriores, se deben considerar los parámetros de dimensionamiento, patrón celular y asignación de frecuencias, para obtener un crecimiento adecuado y acorde a las necesidades del sistema a futuro, teniéndose como último punto, la realización de pruebas al funcionamiento del sistema en operación.

Cd. Universitaria, México, Distrito Federal; Octubre de 1993.

CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES

I.1.- DESCRIPCION DE LA TELEFONIA CELULAR

I.1.1.- ANTECEDENTES (TELEFONIA MOVIL)

Con la invención del sistema de radio por Marconi en 1899 inicia la era de las Telecomunicaciones por medio de ondas electromagnéticas. Teniendo aplicación en la radio comercial y también en el ejército aún antes de la primera guerra mundial, con lo cual su importancia estratégica es comprendida de inmediato.

El desarrollo de la radio comunicación móvil, es usado por vez primera en Detroit en el año de 1921 por el departamento de Policía de esta Ciudad, al dotar a sus patrullas con este medio de comunicación. En esta época varias unidades recibían desde un puesto central la información. Ellos se comunicaban con el puesto central por medio del mismo canal, por lo que tenían que avisar cuando hacían uso del canal. A este sistema se le conoció como "Push to talk".

Posteriormente a principio de los años cincuenta se desarrollan sistemas que usan un canal separado para hablar, estos sistemas de doble banda evitan que el usuario tenga que pedir cambio de canal para ceder su turno, a estos sistemas se les conoce como sistemas "Full Duplex" porque la comunicación es simultánea en ambos sentidos, algunos equipos estaban conectados con una operadora a la red pública la cual se encargaba de la conmutación de estos sistemas.

Hacia mediados de los años sesentas se tienen nuevos sistemas en la banda de los 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 esa década en la banda de los 450 MHz. Ejemplos de estos sistemas son el sistema MK (en la banda de los 150 MHz) y el MS (en la banda de los 450 MHz) diseñados por la Bell Telephone. Estos sistemas fueron parte o predecesores de lo que posteriormente se llamó sistema IMTS, el cual se convirtió en un estándar para los sistemas de telefonía móvil.

La telefonía móvil es concebida en 1946 por Bell Telephone Co. (Actualmente dividida en varias empresas del grupo American Telephone & Telegraph ATT&T) pero su desarrollo definitivo no es conocido sino hasta el año de 1964 con el sistema IMTS (Improved Mobile Telephone System) el cual trabaja en la banda de los 150 MHz. En este sistema el abonado cuenta con un teléfono y un transceptor (Transmisor y Receptor en modo Duplex completo) de manera que hablaba y recibía la señal al mismo tiempo. Este sistema cuenta con una central automática y una antena que cubre toda el área de servicio. La señalización es automática por lo cual, no requiere de operadora para enlazarse a la red pública como en el caso de la radio comunicación móvil precedente. La cual usa una central automática y esta conectada a la red pública por líneas normales de abonado. El primer sistema de este tipo en México es instalado en el año de 1981.

Anteriormente a estos sistemas, hacia fines de la segunda guerra mundial, se introdujeron muchos otros sistemas de comunicación móvil, estos sistemas, por lo general, en frecuencias menores a los 460 MHz y daban servicio a varios departamentos de gobierno, a la industria y sistemas de transporte, así como también a usuarios privados mediante la llamada banda civil.

La telefonía celular es ideada también en los laboratorios Bell hacia el año de 1958 como solución al problema que existía, ya que por cada abonado se usaba una frecuencia distinta y como el número de frecuencias, es limitado se ideó un método para re utilizar las frecuencias, sin embargo se requería que los equipos contaran con cierta capacidad o inteligencia para recibir ordenes desde un equipo remoto. Con el advenimiento de los microprocesadores en 1970 se da la pauta para el desarrollo de estos equipos y también la utilización de sistemas troncales desarrollados por la Cia. Bell hacia 1968. Ambos hechos dan pie al primer sistema Telefónico Celular en Estados Unidos el HCMT (High Capacity Mobile Telephone) en 1971. El cual es el resultado del uso de centrales ATT enlazadas por sistemas PCM digitales.

El primer sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System) es instalado en 1977 en Chicago y es operado por medio de una Central ATT & T.

Por todo lo anterior se pretende que para el año 2000 la 3ra. parte del mundo cubra sus necesidades de comunicación por medio de una nueva Tecnología Celular Digital en voz datos y fax.

La Radio Celular es una de las áreas de las telecomunicaciones con mayor crecimiento. En la mayoría de los sistemas del mundo la instalación proyectada para dar servicio a los usuarios ha tenido una constante revisión debido a su crecimiento.

La introducción de la tecnología digital dentro del ámbito celular para 1991 brindará un desarrollo en el hardware y en la complejidad del sistema, la urgencia con la cual la tecnología digital se esta incrementando para poder aumentar los servicios a causa de carecer del crecimiento en el espectro de frecuencias y los cuales no son satisfechos con los sistemas analógicos que se encuentran funcionando en estos momentos.

En estos momentos el 20% de todos los nuevos teléfonos instalados en países con tecnología celular son de este tipo y para la próxima década se espera la mayor instalación de sistemas celulares móviles.

En nuestros días se cuenta con un gran número de sistemas celulares móviles, dado que la Radio Telefonía Celular es un concepto que fue originalmente concebido para proporcionar una alta comunicación móvil sin consumir una gran cantidad del espectro

La primera propuesta celular fue realizada por la American Telephone and Telegraph (AT&T) propuesta en los años 40's, en 1968 AT&T suministra una propuesta para sistemas celulares de la FCC. El concepto original contiene un grupo de frecuencias para una "Célula" reusando la frecuencia en la misma vecindad, pero teniendo una separación entre estas para poder ser utilizadas sin serios problemas de interferencia. El desarrollo del hardware para implementar este sistema no fue desarrollado sino hasta 1970 y en si el concepto "Celular" (Reuso de frecuencia en celulas) fue aceptado para una útil planeación de frecuencias en esta fecha.

Previamente al primer sistema celular, variados sistemas de telefonía móvil fueron desarrollados, usualmente teniendo solamente un transmisor y un receptor por sitio. Manejando alrededor de 2000 suscriptores, el cual se caracterizó por situarse en sitios muy altos y con una

PAIS	ABONADOS	POBLACION (MILLONES)	PENETRACION POR 1000
Inglaterra	660,000	56.6	11.6
Suecia	295,500	8.4	35.18
Noruega	161,230	4.2	38.39
Francia	135,870	55.5	2.45
Finlandia	131,610	4.8	27.42
Alemania	123,980	62.0	2.0
Dinamarca	112,830	5.2	21.7
Suiza	51,540	6.0	8.59
Italia	46,850	57.2	0.82
Austria	44,250	7.6	5.82
Holanda	43,400	14.5	2.99
Bélgica	21,200	9.9	2.14
España	20,700	38.2	0.54
Irlanda	7,570	3.5	2.16
Islandia	7,280	0.24	30.33
Islas Faroe	780	0.05	15.6
Chipre	690	0.56	1.23
Luxemburgo	400	0.37	1.08
Total	1,865,680	334.82	5.47

Tabla 1.1.1.- Abonados celulares en Europa (junio 1989)

relativa alta transmisión de potencia y desviación; estos sistemas usualmente operan en la banda de VHF y la parte baja de la banda UHF, teniendo una sola célula, teniendo un radio de operación de 12 millas o más, estos sistemas no se pueden considerar como sistemas celulares sino únicamente como sistemas automáticos.

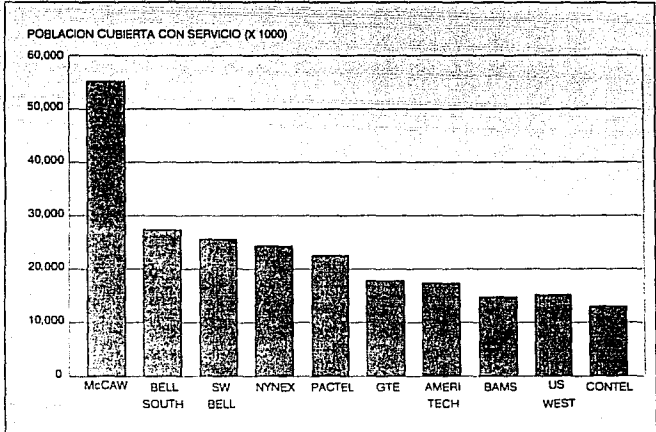


Figura 1.1.1.- Situación del mercado en los EUA

La Radio Telefonía Celular es un punto diferente dado que la gran inversión es vista como una mina de oro, teniendo un alto crecimiento en el rango de los servicios, se decremantan los costos, obteniendo para las compañías un alto beneficio en corto tiempo. En tiempos recientes en los Estados Unidos y en Australia, la expansión de los servicios a las áreas rurales se ha

incrementado en gran escala, lo cual se considera como una evidencia de la demanda de los servicios en áreas que no se tenían planeadas.

En Europa existen once tipos de sistemas de radiotelefonía en veinte ciudades, las cuales son incompatibles con las normas y frecuencias que utilizan. A pesar de esto, cada mes se incrementa el número de abonados en alrededor de 60 mil. En junio de 1989 se estimaron alrededor de 2 millones de abonados en Europa (Tabla I.1.1) y actualmente se estiman más de 2,4 millones, lo que representa alrededor del 35 por ciento del mercado mundial.

En EUA se introdujo el primer sistema celular en 1984 pero actualmente este país tiene el nivel de crecimiento más grande del mundo. A finales de 1988 existían en este país más de 2 millones de abonados y en la actualidad hay cerca de 4 millones. Considerando el nivel de penetración actual de 1.2% y un nivel de crecimiento esperado de 10%, se estima que para finales del siglo existirán entre 15 y 20 millones de abonados. La situación del mercado en los EUA se muestra en la figura I.1.1. Este mercado representa alrededor del 55% del número de teléfonos móviles en el mundo.

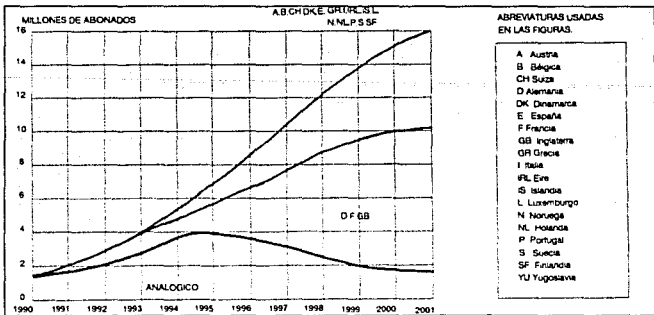


Figura I.1.2.- Crecimiento de los sistemas celulares en Europa

En Japón se espera que para finales del siglo xx cuando menos el 10% de todos los automóviles estén equipados con un teléfono móvil. Se espera que para 1993 la mayor parte de las ciudades europeas estén cubiertas por estos sistema y para 1995 se tendrían cubiertas las principales carreteras. El crecimiento esperado en Europa en telefonía celular pública se muestra en la figura I.1.2.

TABLA CRONOLOGICA DE EVENTOS IMPORTANTES

- 1.- Invención del sistema de radio por Marconi en 1899, con el cual se inicia la era de las Telecomunicaciones.
- 2.- La comunicación móvil es usada por vez primera en Detroit en 1921. Por el Depto. de policía de esta ciudad (sistema Push to Talk).
- 3.- En 1946 la telefonía móvil es concebida por la Bell Telephone Co.
- 4.- En los primeros años de la década de los 50's se desarrollon los sistemas Full Duplex.
- 5.- En 1958 es ideada la telefonía móvil celular por la Bell Telephone Co. como solución al problema que existía en el limitado número de frecuencias.
- 6.- En 1964 se da el desarrollo definitivo con la aparición del sistema IMTS (Improved Mobile Telephone System).
- 7.- En 1968 se tiene un desarrollo en los sistemas troncales y en 1970 con el advenimiento de los microprocesadores dan la pauta para el desarrollo del primer sistema telefónico celular en los EUA, el HCMT (High Capacity Mobile Telephone) en 1971.
- 8.- En 1977 es instalado en Chicago el primer sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System).
- 9.- En 1981 es instalado el primer sistema celular en México.
- 10.- Para 1991 entra la tecnología digital al ámbito celular.
- 11.- Para el año 2000 se tiene planeado que la 3ra parte del mundo cubra sus necesidades telefónicas por medio de una nueva tecnología celular digital en voz, datos y fax.

1.1.2.- FUNCIONAMIENTO BASICO DE UN SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR

El sistema celular es un moderno sistema de Telecomunicaciones que satisface las necesidades de comunicación Telefónica, permitiendo estar en contacto a toda hora y desde cualquier lugar dentro del área de servicio celular. Este sistema viene a revolucionar a la Telefonía convencional, ya que deja atrás los cables y los sustituye por frecuencias de radio , dando la opción de servicio telefónico móvil. El término "CELULAR" se refiere a la manera en que están agrupadas las zonas de servicio que proporciona el sistema por medio de las estaciones de radio (Radio bases). Estas Radio Bases proporcionan el enlace bidireccional de radio con su teléfono y permiten el establecimiento de la comunicación telefónica. Esta central ó MTX a su vez también esta conectada a la red pública telefónica (en México TELMEX) para poder dar paso a llamadas que entran o salen de la red celular con la red pública .

También se pueden interconectar varios MTX para realizar la función de roaming (visitante) entre diferentes zonas de servicio celular. La Figura 1.1.2.1 muestra las partes principales en las que se compone un sistema de radiotelefonía celular.

La MTX es una central telefónica digital totalmente computarizada y constituye la interfase entre el Sistema de Telefonía Celular y la (RPTT) Red Pública Telefónica (en México TELMEX). Todas las llamadas que se establecen hacia y desde los suscriptores móviles son computadas y enrutadas por el MTX, el cual a su vez, también provee todas las funciones de señalización que son necesarias para establecer la conmutación telefónica ya sea con suscriptores convencionales de la RPT o con otros celulares. También proporcionan el servicio de Larga Distancia Nacional o internacional a través de la RPT local, ya que está directamente conectado a los Centros Automáticos de Larga Distancia (CALD) de Telmex. fig. 1.1.2.2

Cada Radio Base del sistema está conectada al MTX por medios de transmisión digital para permitir la comunicación de voz, y datos de señalización que son necesarios para realizar la conexión telefónica de los suscriptores Celulares.

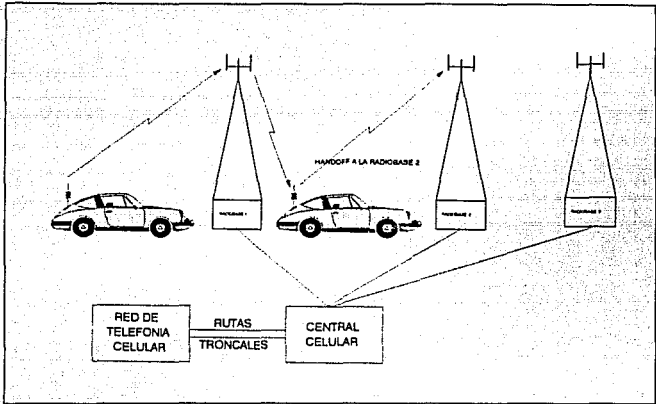


Figura. 1.1.2.1.- Partes principales en las que se compone un Sistema de Radiotelefonía Celular.

En el MTX donde se realizan las funciones de supervisión de la calidad de la comunicación y la decisión de realizar por ejemplo, una transferencia (Handoff) de la llamada entre 2 Células para mantener la comunicación sin permitir que el nivel de calidad caiga a niveles inferiores a los permitidos. Es aquí también donde se ejecutan las acciones necesarias para poder ofrecer los servicios especiales de abonado tales como, transferencia de llamada, llamada en espera y conferencia tripartita

Las Radio Bases constituyen la interfase de radio entre el MTX y el teléfono celular y tiene como función principal mantener la conexión telefónica del suscriptor mientras se desplaza dentro de la zona de servicio como lo muestra la figura 1.1.2.3. En la mayoría de los casos la Radio Base más cercana al teléfono es la que proporciona la conexión. Esto se hace con el fin de

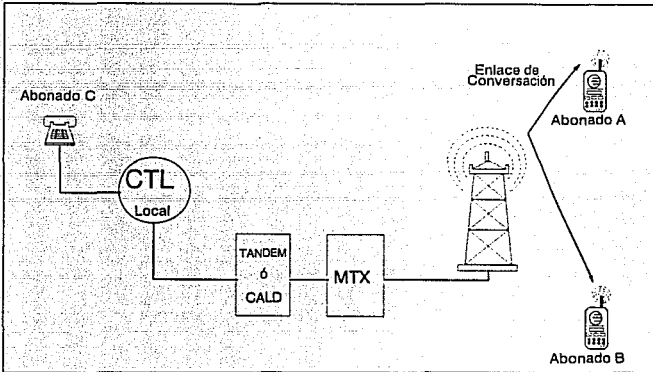


Figura. I.1.2.2.- Interconexión de la Central Celular con la Red Pública Telefónica y el Sistema de Telefonía Celular

asegurar la mejor recepción y calidad de la señal posible. Básicamente una Radio Base se compone de una torre, antenas, unidades transceptoras de radio (Canales de Voz) y las unidades de control. La unidad de control efectúa entre otras cosas, el intercambio de datos con el MTX y la señalización digital de la Radio Base con el radio teléfono por medio del "Canal de Control", éste es un canal de radio al cual están sintonizados todos los teléfonos que están siendo atendidos por esa Radio Base.

Los Canales de Voz son los que comunican la señal de voz desde la Radio Base al teléfono y viceversa de una llamada en curso, de tal forma que sólo son ocupados hasta que dicha llamada se inicie.

Una Radio Base puede formar desde una hasta tres diferentes zonas de cobertura o "Células" en el caso de la configuración de tres sectores pero pueden ser más, a las que puede dar

servicio en forma independiente. Esto se hace con el fin de poder reusar las frecuencias y poder tener más canales de voz disponibles por cada célula.

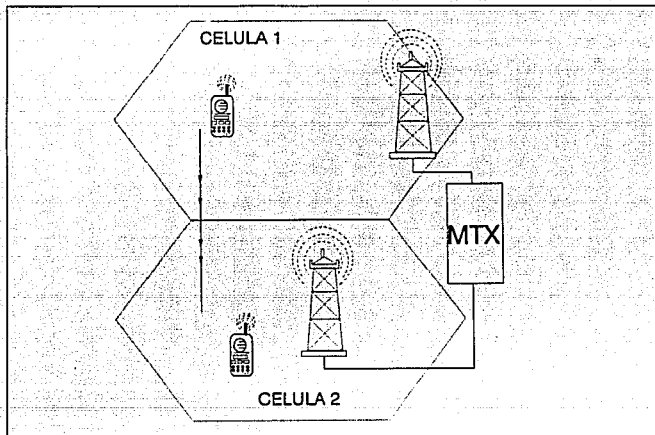


Figura. I.1.2.3.- Comportamiento de la Radiobase y Células de un suscriptor en la zona de servicio.

El propósito de "Sectorizar" la zona de servicio en múltiples células, es el de permitir que se lleve a cabo la mejor calidad de señal posible, la comunicación telefónica del mayor número de llamadas aún cuando el tráfico sea alto en las horas pico, debido al gran número de usuarios del Sistema Celular.

Para un mejor entendimiento se debe observar primeramente que un enlace de Radio y aún más a las frecuencias utilizadas en Telefonía Celular la calidad de la señal se deteriora cuando la distancia entre teléfono y célula aumenta. Ahora, supongamos que un suscriptor con una llamada

en curso se está desplazando y al mismo tiempo alejando de la célula que lo atiende. En este caso se hace necesario una "Transferencia" ó "Hand off" entre células sin interrupción de la llamada en curso, para impedir que la calidad de la comunicación a la célula que esté mas próxima y disponible a dicho suscriptor sin que éste note cambio alguno o interrupción en la conversación, para permitir la continuidad de la comunicación. Este proceso continuará efectuándose cada vez que el suscriptor celular se aleje de nuevo de la célula que le va dando servicio. Como lo muestra la figura 1.1.2.4

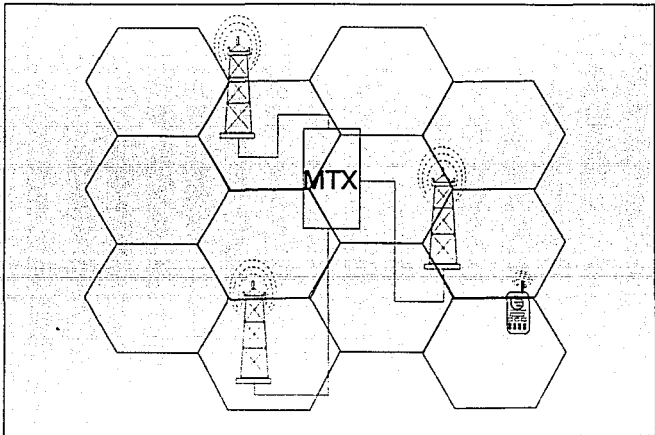


Figura. 1.1.2.4.- Area de servicio de las diferentes células entre las cuales se realiza el Hand off de acuerdo al deterioro de la señal de la célula que se encuentra dando servicio.

Se les denomina Radio Teléfonos ó teléfonos celulares a los aparatos con los que el suscriptor celular se comunica. Estos equipos electrónicos son fabricados por diferentes compañías, lo que implica que su precio y características varien de uno a otro. Sin embargo, todos

los equipos serán compatibles con el sistema que tenga el estandar Norte Americano AMPS (EIA IS 19B).

Un teléfono celular se compone básicamente de 4 partes ó sistemas, como lo muestra la figura I.1.2.5. unidad de control, unidad transreceptora de radio, antenas y unidades de alimentación (batería ó eliminador de CA).

Por su potencia radiante podemos dividir a los teléfonos celulares en dos grupos:

- a) Los teléfonos de 3 Wats que son: Los trasportables, fijos y móviles.
- b) Los teléfonos de 0.6 Wats que son los portátiles.

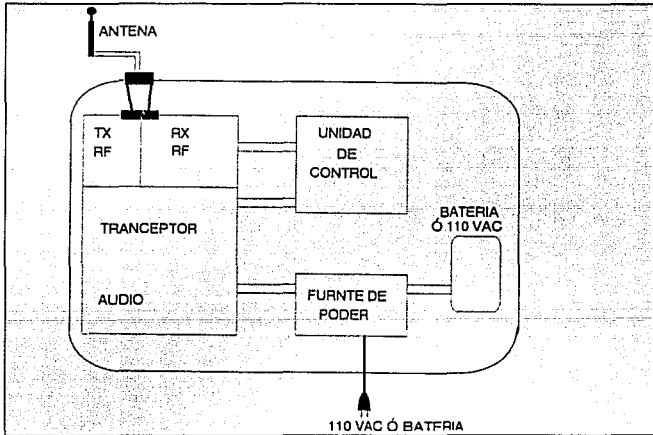


Figura. I.1.2.5.- Estructura Básica de un Radio Teléfono.

Los sistemas celulares son estructuras de diferente forma en diferentes países, pero no así su estructura básica, la cual de manera más detallada se muestra en la figura 1.1.2.6

El corazón del sistema celular es el Switch celular, el cual tiene una disponibilidad completa para la conexión de cualquier entrada con cualquier salida. El switch celular conecta una estación base a la red de telefonía pública, así como también una estación base con cualquier otra estación base requerida, el switch celular realiza la conexión a través del tronco de rutas definidas para la red pública.

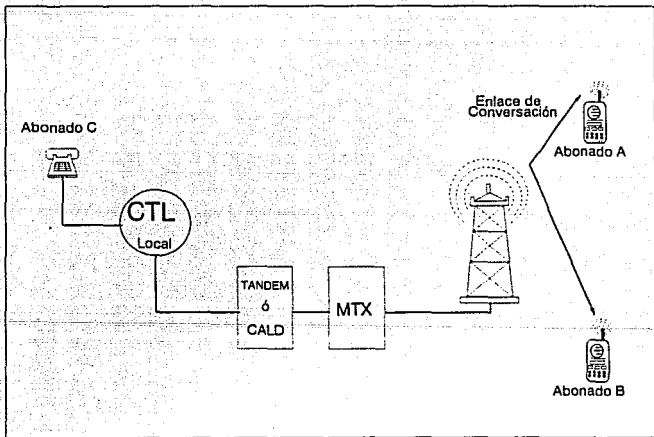


Figura. 1.1.2.6.- Estructura Básica de los Sistemas Celulares.

Una arquitectura semejante se tiene con el continuo monitoreo de las llamadas en progreso y la habilidad de configurar el sistema rápidamente lo cual ocurre sin disturbios para los usuarios.

El tiempo del hand off varía de 0.5 a 1 segundo y cerca de los 100 milisegundos en los nuevos sistemas por lo cual la movilidad mostrada en la figura 1.1.2.6 cuando un móvil se desplaza de la estación base 1 a la estación base 2 el cual eventualmente se manejará fuera del área de cobertura de la estación base 1. El sistema evalúa el decremento de la intensidad de la señal y evalúa la señal con la que es captada por las estaciones base vecinas, si alguna de ellas reporta una mejor intensidad de señal, el sistema puede dar instrucciones al móvil, para cambiar de canal o lo que es lo mismo, la realización de un "Handoff" a la mejor radiobase, en este caso la estación base 2.

Los primeros sistemas utilizaban SPC (Structured Program Control) en el Switch, el cual fue diseñado primariamente (Land-Line) switches. Generalmente en éste se encontró que la carga del procesador no fue suficiente por lo cual fue necesario de sistemas celulares extras. Los switches celulares modernos tienen un procesador que está planeado para las demandas del sistema con el número de puertos que soporta.

Los switch celulares pueden ser también específicamente diseñados o modificados para las demandas necesarias. El switch es usualmente un procesador controlado. El procesador maneja muchas funciones entre las cuales se incluyen por mencionar algunas la validación de usuarios, monitoreo de llamadas, diagnósticos del sistema e intercomunicaciones con otros switches celulares y estaciones base.

La estación base tiene algunas funciones de inteligencia lógica pero es esencialmente controlada por el switch.

La mayoría de los sistemas utilizados en nuestros días usan transmisión analógica de voz en modo FM, sin embargo el control de los canales (canales de datos) utilizan FFSK (Fast Frequency Shift Keying) de señalización digital pero futuros sistemas serán digitales totalmente.

No existe alguna definición específica para los sistemas celulares, pero si se podría decir que cuentan con los siguientes puntos:

- Reuso de frecuencias.

- Habilidad de realizar Hand offs de un móvil en una célula de acuerdo a la intensidad de la señal y/o los requerimientos del ruido.
- Configuraciones multicelular y multiestaciones radiobase.
- Acceso para reparar la red telefónica con llamadas receptoras móviles básicamente individuales (Un grupo de llamadas que sea únicamente disponibles utilizando la red del switch.)
- Habilidad de trabajar en situaciones de interferencia controlada.

El familiar patrón del hexágono tiene la peculiaridad de comenzar a asociar una radiocélula como se muestra en la figura I.1.2.7a. Para comprender la radiotelefonía celular, es muy importante entender el concepto de crear los hexágonos:

- Todos los sitios tienen el mismo tipo de antena (Esto es todos omni o todos sectoriales)
- El terreno es perfectamente plano (no hay floresta o construcciones)
- Las alturas de las antenas son idénticas.

Este tipo de terreno es llamado desierto A. Los sistemas que satisfacen estas condiciones es ilustrado en el patrón de la figura I.1.1.7b. Con un sistema celular analógico tan cerrado como sea deseado en los patrones hexagonales o sistemas digitales que permiten definir los límites para la triangulación de la posición del móvil.

Dado que la extrema simetría está dada en este tipo de terreno, esto ha sido posible gracias a la utilización de métodos matemáticos para obtener los valores en los cuales se obtiene una alta densidad en sistemas celulares en células regulares divididas en un rango contratado.

Varios planos celulares han sido divisados para obtener el óptimo reuso de frecuencias (minimizar el radio de la portadora de interferencia) para estos sistemas teóricos lo cual puede ser trasladado dentro de sistemas reales dentro de un muy buen concepto de eficiencia y realizando los ajustes para realizar en la práctica la mayor eficiencia.

Los hexágonos aproximadamente pueden ser usados como punto de comienzo, pero en el medio ambiente real se debería determinar la configuración actual del sistema.

El modelo de 4 células es más complicado, sin embargo, la construcción del modelo de 7 y 12 células es más amigable, algunas otras configuraciones son posibles.

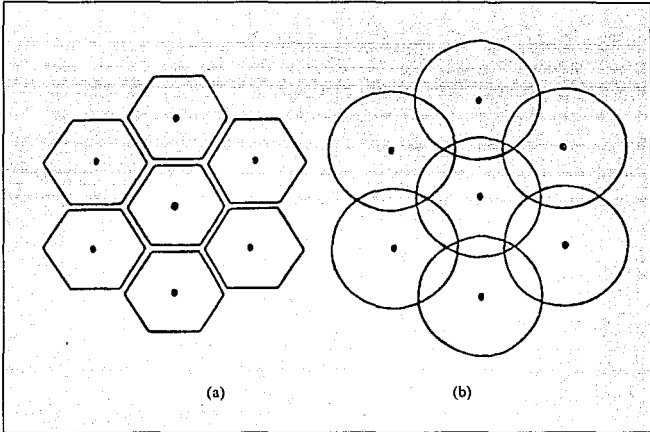


Figura. 1.1.2.7.- Familiar patrón del hexágono (a) Teórico, (b) Real

I.2.- DIFERENTES TIPOS DE SISTEMAS CELULARES

I.2.1.-SISTEMAS PRECELULARES.

El sistema telefónico móvil IMTS ha sido ampliamente utilizado especialmente en Estados Unidos. Está basado en el concepto de una sola célula de servicio de gran tamaño, no considera el reuso de frecuencia y obviamente los handoffs no representan ningún problema por tratarse de un solo sitio.

El número de canales colocados por IMTS a lo largo de Estados Unidos es variable, por lo que la capacidad de servicio también lo es. Como el reuso de frecuencia no está considerado para una sola área geográfica, la eficiencia del uso del espectro de este sistema es pobre.

En Chicago solo 23 canales están disponibles, por lo que se asume que estos son suficientes para servir a 1150 subscriptores, es decir, se tiene 50 subscriptores por canal. Puede verse que la densidad es mucho mayor a la utilizada en varios sistemas celulares, donde 20 subscriptores por canal es lo usual. Esto significa que un bajo grado de servicio (o un alto porcentaje de llamadas bloqueadas) es brindado por el IMTS.

El sistema francés RADIOCOM 2000, es en muchas formas similar al sistema IMTS. Opera en las bandas de 200 y 400 MHz. Fué lanzado al mercado en 1985 y utiliza 256 canales. La versión UHF es utilizada a lo ancho de todo el país, mientras que la versión VHF es usada en París, Lión y Marsella.

A principios de 1990, una extensión de este sistema fué anunciada en la banda de 900 MHz. Esta extensión fué en respuesta al crecimiento de la demanda de servicio en las redes existentes cuya capacidad: era de 170,000 subscriptores hasta finales de 1989.

I.2.2.- SISTEMAS CELULARES

Existe un número de sistemas celulares que son utilizados alrededor del mundo hoy en día. La escasez de un estándar uniforme ha impedido el desarrollo de los sistemas celulares y del Roaming (visitante) en particular.

Por ejemplo, el roaming no es posible entre América y Europa dado que cada continente tiene reservado un bloque diferente de frecuencia para sus servicios de telefonía celular. GSM sistema digital Pan-Europeo es al menos, un intento Regional para resolver el problema de uniformidad.

Por tanto, existe la posibilidad de que un sistema celular mundial compatible en la banda de 1 GHz, sea diseñado.

La Tabla I.2.2.1 muestra la mayoría de los sistemas de telefonía celular utilizados en diferentes países por todo el mundo, además del porcentaje del mercado mundial que abarca cada uno; de los cuales solo haremos mención de los más importantes.

SISTEMA	NOMBRE/PAIS	PORCENTAJE DE MERCADO
AMPS	SISTEMA TELEFONICO CELULAR AVANZADO	57 %
NMT450	SISTEMA TELEFONICO MOVIL NORDICO (450 MHz)	14 %
TACS	SISTEMA CELULAR DE ACCESO TOTAL	15 %
NMT900	SISTEMA TELEFONICO MOVIL NORDICO (900 MHz)	6 %
NTT	SISTEMAS JAPONESES NTT A 800 MHz Y 450 MHz	6 %
SISTEMA C	SISTEMA DIGITAL ALEMAN	2 %
RMTS	SISTEMA ITALIANO	1 %
ACS	SISTEMA COMVIK	< 1 %

Tabla I.2.2.1.-Sistemas telefónicos celulares y su porcentaje del mercado mundial.

El número total de usuarios hasta 1989 fué de 4.6 millones.

I.2.3.- TACS/ETACS

El sistema TACS es un AMPS trasladado e incrementado. Esto es debido a que Europa utiliza la banda correspondiente a AMPS para televisión VHF; por lo que TACS fué desarrollado colocando el AMPS en una nueva banda disponible en el Espectro de Telefonía Móvil Europeo. Fué liberado en 1985 y opera en los 900 MHz con una separación o ancho de canal de 25 KHz lo cuál incrementa su número.

ETACS es aproximadamente el mismo que el sistema TACS solo que este opera en un ancho de banda mayor y es escasamente diferente en la frecuencia de operación.

I.2.4.- NMT450/NMT900

El sistema NMT450 se encontró disponible en 1981 con las especificaciones de las interfases del sistema completamente caracterizadas. Esto es, un protocolo estandar de señalización switch-a-radiobase y radiobase-a-switch así como para radiobase-a-móvil. Esta estandarización, olvidada por otros sistemas, permite que equipos de diferentes constructores puedan ser interconectados. Entonces, una radiobase de un constructor podría ser directamente conectada a un switch de cualquier otro constructor. Pero, tan pronto fué realizada su introducción, los sistemas NMT450 se instalaron en varios países en diferentes frecuencias y con diferentes anchos de canal, lo cuál los hizo incompatibles desde el punto de vista del subscriptor o abonado. Diferentes frecuencias fueron seleccionadas dentro del espectro local de frecuencias. El ancho de canal, inicialmente de 25 KHz, fué alterado a 20 KHz en algunos sistemas para obtener más canales (un incremento de 180 a 225) en el mismo ancho de espectro.

El sistema NMT900, liberado a principios de 1986, es esencialmente un NMT450 pero trasladado en frecuencia a los 900 MHz. En consecuencia mucho más canales se encuentran disponibles.

Algunas mejoras fueron realizadas incluyendo el sistema de diversidad en las antenas receptoras y los compresores de la señal de voz.

I.2.5.- AMPS

AMPS fué el primer sistema en la banda de 800 MHz introducido. Fué liberado al final de 1983. Abarca el mayor porcentaje del mercado, especialmente fuera de Europa; dejando a los sistemas TACS y NMT mas otros cinco menores compartir menos de la mitad del mercado mundial. Además, el sistema AMPS es aproximadamente diez por ciento más barato que los otros sistemas; debido principalmente al volumen de producción y a la competencia entre constructores. Muchos países han anunciado recientemente nuevos sistemas, resultando un considerable dominio del los AMPS.

I.2.6.- OTROS

NET₂ B y C son utilizados en Alemania del Este. El sistema telefónico móvil para carro a 160 MHz, B-NET₂ (sin handoff), es utilizado junto con su sistema digital C-NET₂ a 450 MHz. El C-NET₂ tiene 237 canales y una capacidad de cerca de 150,000 usuarios. En 1989 había 120,000 usuarios y un considerable número de problemas han sido asociados con tal cantidad de subscriptores.

El sistema C es digital y utiliza tiempos de retardo por propagación para el control de handoffs por lo que ocurren dentro de tiempos predefinidos. De manera similar, la radiobase puede detectar la distancia de o hacia cualquier unidad móvil, Figura I.2.6.1; haciendo

ésto posible, predefinir los handoffs de modo que estos ocurran a cualquier distancia de una radiobase.

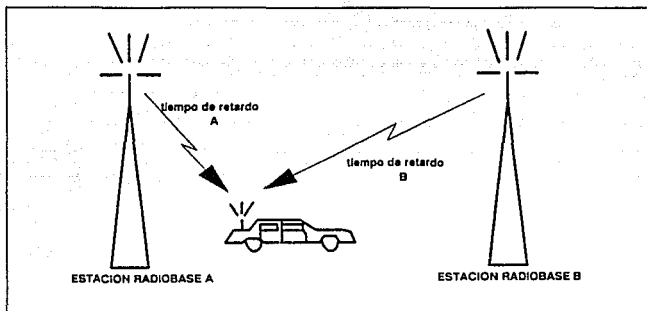


Figura 1.2.6.1.- Por medio de la medición del tiempo de retardo de los bits de tiempo de sincronización, la radiobase puede detectar la célula más cercana mejor que una con mayor fuerza de señal.

Japón introdujo un sistema celular a 800 MHz en 1979 en el área metropolitana de Tokio, el cual tenía 600 canales con 25 KHz de ancho.

Para poder soportar la creciente demanda de capacidad, posteriormente fué introducido un segundo sistema usando 6.25 KHz de ancho de canal con 2400 canales. Este sistema incluía las siguientes características:

- Diversidad en la recepción.
- Asignación dinámica de canal.
- Compatibilidad con los primeros sistemas de banda ancha.
- Encriptamiento digital de voz.

Originalmente el sistema fué usado con un patrón celular $N=17$, pero posteriormente fué reconfigurado a $N=14$. Las radiobases cuentan con transmisores a 5 Watts de potencia y se instalan 16 por Rack.

A finales de 1988 había 520 Radiobases con 4200 radiocanales. Más de la mitad de todos los subscriptores están en Tokio.

Italia estableció su red móvil de área-ancha en 1974 e introdujo un sistema celular conocido como RMTS en 1985. Esta red tenía 70,000 subscriptores a finales de 1989 y opera en la banda de 450 MHz.

El RMTS tiene una cobertura a lo ancho del país soportada por 350 radiobases. El sistema está alcanzando la saturación en las áreas de Milán y Roma. Para cargar con la futura demanda, un sistema TACS con 450 radiobases fué implementado en 1990.

El sistema Comvik ACS Sistema Celular Avanzado, fué puesto en servicio en 1983 en Suiza y posteriormente fué introducido en Hong Kong. Este sistema opera en las bandas de 400 y 800 MHz.

El handoff es iniciado por la radiobase, el cual comienza con la búsqueda de un canal libre una vez que el nivel de fuerza de señal a declinado por debajo de tres milivots. Cuando sea indicado, la radiobase empezará a buscar canales libres en otros sitios, y si un canal se encuentra disponible, iniciará en requerimiento de handoff. El sistema está limitado a 16 canales por radiobase. Cuando un móvil es encendido, buscará un Canal móvil Terminante (MT) y permanecerá en este canal hasta que un handoff sea requerido. Las llamadas son inicializadas cambiando a un Canal Móvil Originante (MO).

1.2.7.-COMPARACION TECNICA

La Tabla 1.2.4.1 muestra la comparación técnica de algunos de los diferentes sistemas celulares mencionados anteriormente.

SISTEMA	AMPS	TACS	NMT-450	NMT-900	C-450	C-900	MATS-E	NAMTS
PARAMETROS								
DESARROLLADO EN	USA	USA-UK	*	*	ALEMANIA	ALEMANIA	FRANCIA HOLANDA	JAPON
EN OPERACION	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI
FRECUENCIA (MHz)	825-845 R 845-890 T	890-915 R 935-960 T	453-457.5 R 463-467.5 T	890-915 R 935-960 T	-	890-915 R 935-960 T	447.5-470 *1 890-960 *1	870-885 R 925-940 T
ANCHO/CANAL (kHz)	30	25	25	25	20	25	25	25
DISTANCIA DUPLEX (MHz)	45	45	10	45	10	45	10 (450) 45 (900)	55
HANDOFF	SI	SI *2	NO	SI	SI	NO	SI	-
SWITCH-A-SWITCH		NO *2						
PATRON CELULAR	12,7	12, 12, 7, 4	12, 7	9, 12	7	7	7	-
CAPACIDAD (CANALES)	1,000	1,000	180	1,000	222	1,000	200 (450)	1,000
SEÑALIZACION (K-kbit/s)	FSK 1.2 K	FSK 1.2 K y TDM 5.28 K	FSK 1.2 K	FFSK MFP MFC CCITT Reg. R2	FFSK 5.26 K	TDM 5.26 K CCITT No 7 4.8-8.65 K	FFSK 2.4 K	FSK 0.19 K *1
ERP MAXIMO BASE	100 W	100 W	50 W	50 W	100 W	100 W	-	25 W
ERP MAXIMO MOVIL	3 W	10 W	15 W	15 W	15 W	15 W	-	5 W *4
TERMINOLOGIA								
SWITCH	MTSOMCS	MTSOMCS MTX/EMX	MTX	MTX	MSC	TXM	MCC	ASC
ESTACION CONTROL	NIL	NIL	NIL	NIL	-	NIL	NIL	MCS
RADIOBASE	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	MBS
MOVIL	MU	MU	MS	MS	MS	MS	MS	MSS

* Escandinavia.

*1 Frecuencias a 450 y 900 MHz respectivamente.

*2 Handoff. Switch-Switch; SI para Motorola, NO para Ericsson.

*3 Señalización. Se incrementada.

*4 ERP MOVIL. Se reducirá a 1.0.

Tabla 1.1.7.1.- Comparación técnica de los principales sistemas celulares. Fuente: MINITEL/CELLENT 1991.

La capacidad de voceo de los sistemas difiere substancialmente. La Tabla I.2.7.2 muestra la capacidad de voceo de los sistemas más importantes donde los mensajes se consideran como palabras simples ocupando el 50% de la disponibilidad del canal de control.

La diferencia de capacidad de voceo entre TACS y AMPS (de 8-10 Kb/s) es debida a la diferencia en el ancho de canal, 25 y 30 KHz respectivamente.

NMT900 usa canales de voz libres para el voceo sin utilizar canales dedicados exclusivamente para esta tarea. Esto es una ventaja en las zonas rurales con pequeños sistemas donde no es necesario colocar canales exclusivos para el voceo. Pero, en sistemas con alto tráfico, ésto reduciría la capacidad de sistema.

SISTEMA	VOCEO/HORA
AMPS	77760
TACS	62000
NMT900/450	13000

Tabla I.2.7.2.- Capacidades de voceo.

Los principales sistemas celulares difieren básicamente en dos características, en lo que a la frecuencia se refiere: rango de cobertura y banda de operación.

A fin de incrementar la disponibilidad de canales varias técnicas han sido utilizadas, más significativamente, la frecuencia de desviación de la modulación en FM ha sido progresivamente reducida. Para la operación por debajo de los niveles de ruido, este decremento en la desviación viene acompañado por una reducción en el rango de cobertura, como lo muestra la Tabla I.2.7.3.

La Tabla I.2.7.3 compara el rango de cobertura de sitios, con celulas adyacentes dentro de la red, de los cuatro principales sistemas.

SISTEMA	RANGO (Km)	RANGO % DE AMPS	COBERTURA (Km ²)	DESVIACION (KHz)
AMPS	10	100	312	4.7/12
NMT450/TACS	8	85	200	9.5
NMT900	6	60	60	4.7

Tabla L.7.2.3.- Efectos de la desviación en la cobertura.

Las Tablas I.2.7.4 a I.2.7.9, muestran el total de abonados de cada sistema en el mundo y el crecimiento anual correspondiente. Se puede ver el dominio de Estados Unidos. También puede observarse que solo 20 países representan el volumen total de la red celular mundial.

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
SAMOA	200	
ARGENTINA	INICIA 1989	
AUSTRALIA	90,000	60,000
BAHAMAS	?	
BERMUDAS	?	
BOLIVIA	?	
BRASIL	INICIA 1989	
BRUNEI	100	
CANADA	242,438	104,000
ISLAS CAIMAN	?	
CHILE	INICIA 1990	
COLOMBIA	INICIA 1989	

Continúa

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
COSTA RICA	150	
REP. DOMINICANA	400	
GABON	?	
GUATEMALA	INICIA 1990	
HONG KONG	30,000	12,000
INDONESIA	?	
ISRAEL	7,000	
JAMAICA	?	
KENIA	?	
KOREA	30,000	
MALASIA	?	
MEXICO	1,000	
ANTILLAS HOLANDESAS	INICIA 1989	
NUEVA ZELANDA	9,000	
PAKISTAN	INICIA 1990	
PANAMA	?	
FILIPINAS	600	* 13,000
PUERTO RICO	?	
SINGAPUR	9,000	1,200
SAN MARTIN	INICIA 1989	
TAIWAN	* 30,000	
TAILANDIA	10,000	4,200

Continúa

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
USA	2,193,197	800,000
VENEZUELA	?	
ZAIRE	?	
TOTAL	2,621,275	980,200

* Capacidad instalada.

Tabla L.2.7.4.-Subscriptores del sistema AMPS (Junio 1989).

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
AUSTRIA	EN INSTALACION	
ARGELIA	?	
BAHREIN	2,000	
BARBADOS	?	
CHINA	10,000	
GRECIA	INICIA 1990	
HONG KONG	30,000	18,000
INDIA	NO ESTA EN SERVICIO	
INDONESIA	1,000	
IRLANDA	7,500	
ITALIA	30,500	
KENIA	INICIA 1990	
KUWAIT	17,000	4,000
MACAO	700	

Continúa

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
MALASIA		* 5,000
MALTA	INICIA 1990	
MAURITANIA	200	
ESPAÑA	EN INSTALACION	
SRI LANKA	250	
UAE	INICIA 1989	
REINO UNIDO	586,000	250,000
TOTAL	681,150	277,000

* Capacidad instalada.

Tabla I.2.7.5.-Subscriptores del sistema TACS (Junio 1989).

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
ALGERIA	INICIA 1990	
CHIPRE	1,500	500
FINLANDIA	47,000	20,000
MOSCU	INICIA 1990	
HOLANDA	EN INSTALACION	
ESCANDINAVIA	173,000	83,000
SUIZA	35,000	37,000
TURQUIA	14,000	5,000
TOTAL	270,500	148,500

Tabla I.2.7.6.- Subscriptores del sistema NMT900 (Junio 1989).

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
AUSTRIA	38,000	11,600
BELGICA	24,000	11,400
DINAMARCA	53,000	0
FRANCIA	94,000	18,700
ISLANDIA	8,000	1,300
INDONESIA	10,000	2,600
LUXENBURGO	400	200
MALASIA	30,000	10,000
HOLANDA	28,000	3,000
NORUEGA	12,000	9,900
ARABIA SAUDITA	12,000	12,000
SUIZA	200,000	36,500
TAILANDIA	20,000	1,000
TOTAL	637,400	127,000

Tabla L.2.7.7.- Subscriptores del sistema NMT450 (Junio 1989).

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
AFRICA DEL SUR	2,300	
ALEMANIA	112,000	
PORTUGAL	?	
TOTAL	114,300	

Tabla L.2.7.8.- Subscriptores del sistema NET₂C (Junio 1989).

PAIS	SUBSCRIPTORES	CRECIMIENTO ANUAL
AUSTRALIA	15,000	
HONG KONG	4,000	
JAPON	250,000	
SINGAPUR	4,000	
ARABIA SAUDITA	?	
TOTAL	273,000	

Tabla L2.7.9.- Subscriptores del sistema JTACS/NAMTS (Junio 1989).

Las principales instalaciones de TACS están en Reino Unido (UK) y Hong Kong. Ambos, UK y Hong Kong están experimentando problemas con la capacidad, y el incremento de la demanda es suficiente para asegurar que cambiarán a GMS, tan pronto como esté disponible en el mercado. Otros usuarios de la banda , por ejemplo NMT900, quizá no tengan esta urgencia por cambiar, pero sería imprudente expandirse en la banda GMS una vez que el equipo digital esté disponible. Luego entonces, la producción de unidades telefónicas de TACS y NMT900 disminuiría drásticamente con la introducción de sistemas digitales.

I.3.-ELEMENTOS DE RADIOPROPAGACION APLICADOS A LA TELEFONIA CELULAR.

I.3.1.-ESPECTRO DE FRECUENCIAS.

Dentro de los sistemas de comunicaciones, se emplean equipos que manejan frecuencias dentro de un ancho de banda bien definido; el ancho de banda depende de la cantidad de información y de la velocidad con que esta deba ser transmitida. Dado que entre menor es el tiempo en el cual una señal eléctrica varía, tanto mayor es la cantidad de información que puede enviar así como mayor es el ancho de banda necesario para manejar dicha información, los equipos modernos están diseñados para señales de banda ancha para representar la información, y en forma de sistemas de banda ancha para acomodar tales señales.

Es así que el sistema debe manejar un ancho de banda que permita la transmisión de señales a una velocidad adecuada, de lo contrario se corre el peligro de disminuir la velocidad de señalización incrementándose así el tiempo de transmisión. Es por ello que en las señales de FM se manejan anchos de banda mayores que para las señales de AM.

En los sistemas de banda ancha se requiere que la frecuencia de la portadora sea mayor que para sistemas normales debido a que, para poder simplificar el equipo, es necesario reducir el ancho de banda fraccionario que es el ancho de banda absoluto dividido entre la frecuencia central. De ahí que las portadoras de alta frecuencia permitan tener una mayor capacidad de información (como es el caso de el rayo laser cuya frecuencia es de 5×10^{14}) y que permite una capacidad teórica de información mayor en 10^5 veces a la de un sistema de microondas. Es por ello que se están investigando nuevas fuentes de portadoras de alta frecuencia utilizables para compensar el factor de ancho de banda.

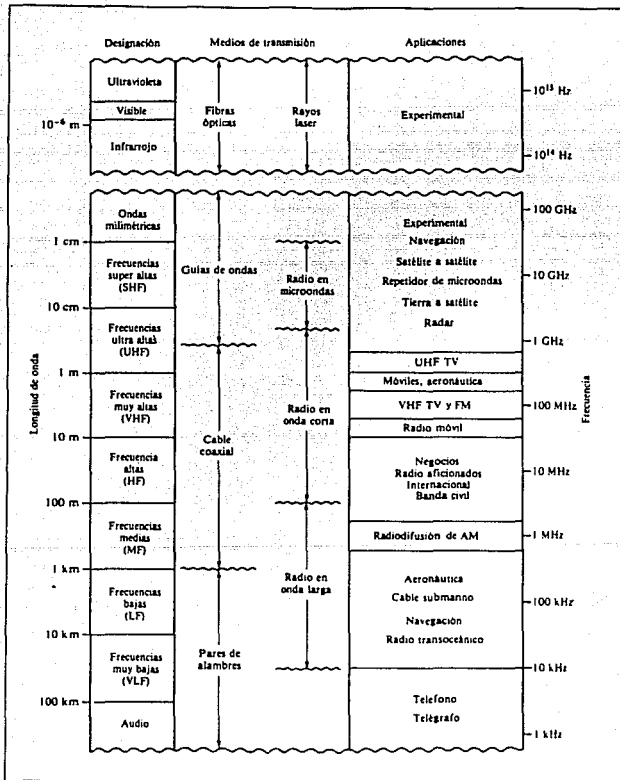


Figura L.3.1.1.-El espectro electromagnético. (Las aplicaciones mostradas son ilustrativas; las limitaciones de espacio impiden una lista completa).

En la figura 1.3.1.1 se muestran las porciones del espectro electromagnético en uso o potencialmente disponible para la comunicación eléctrica. Se indican en ellas las aplicaciones representativas y los medios de transmisión. Considerese que en general el ancho de banda disponible en cualquier punto es aproximadamente el diez por ciento de la frecuencia de portadora. También se incluye la banda reservada para telefonía celular.

Para los distintos estándares usados en los sistemas de telefonía celular AMPS, TACS, NTM9000, etc. se utilizan distintos rangos y espectros de frecuencia. En el caso de AMPS, adoptado en México, se utiliza la banda de 800 a 900 MHz; para el caso de TACS y NTM900 se utilizó la banda de los 900 MHz para disponer de un mayor número de canales utilizando distintas técnicas para reducir progresivamente la desviación de frecuencia en la modulación de FM, aunque con ello se reduce el rango del área cubierta por el servicio celular y se tiene que aumentar el número de estaciones para cubrir un área determinada (ver tabla 1.3.1.1). Por otra parte al trabajar por encima de los 900 MHz se observa una disminución en la propagación, debida a una menor apertura en las antenas, al compararlas con otras de la misma ganancia pero que trabajan en la banda de lo 800 MHz. Dicha disminución en la ganancia es de alrededor de 0.6 dB lo cual afecta el área cubierta por una estación.

Para el caso de el sistema NTM450 no presenta una gran desviación en la frecuencia pero al encontrarse en un ancho de banda con frecuencias de la mitad de las usadas en los otros sistemas, presenta pérdidas de trayectoria de 6 dB mayores que en aquellos sistemas.

En la figura 1.3.1.2 se muestra el espectro usado por varios sistema celulares en la banda de los 800-900MHz tanto para transmisión como para recepción desde la estación base.

Para el caso de Estado Unidos, y en consecuencia de México, la banda de frecuencias se ilustra en la figura 1.3.1.3. Para cada área geográfica existen solo dos compañías que ofrecen el servicio celular. Una de ellas siempre es la que había venido ofreciendo el servicio telefónico convencional; a ella se le asigna el sistema denominado B mientras que al operador independiente, que no posee su propia red telefónica, se le permite operar el sistema A. Los posibles clientes pueden escojer entre cualquiera de los dos sistemas.

SISTEMA/TIPO	RANGO [Km]	RANGO % Tomando como referencia al sistema AMPS	COBERTURA [km ²]	DESVIACION [kHz]
AMPS	10	100	312	4.7/12
NTM7450/TACS	8	85	200	9.5
NMT900	6	60	113	4.7

Tabla L3.1.1.-Efecto de la desviación en la cobertura. Rango determinado por medio del método de Okumura para regiones urbanas (ver tema L3.7)

La banda de frecuencias disponible se divide en dos grupos, uno de los cuales es utilizado por el sistema A y el otro por el B.

En forma normal los teléfonos celulares se encuentran sintonizados a alguno de los canales de control del sistema al que se encuentren suscritos, pero si el sistema falla estos pueden cambiarse al otro sistema siempre y cuando exista un acuerdo entre los operadores de ambos sistemas (no es el caso de México).

Para el ancho de banda asignado a telefonía celular se encuentran disponibles 1 332 canales, de los cuales la mitad lo utiliza el sistema B y el resto el sistema A. En la figura I.3.1.3 se muestra como los canales de control se hayan en cada sistema (21 para cada uno de ellos); la frecuencia asignada a ellos se encuentra predefinida y no puede cambiarse.

En la tabla I.3.1.2 se encuentra la disposición de las frecuencias en el sistema B, de acuerdo a las especificaciones de la FCC. Los canales se encuentran numerados desde el 334 hasta el 666. Los canales del 334 al 354 se utilizan como canales de control, mientras que del 355 al 666 sirven como canales de voz.

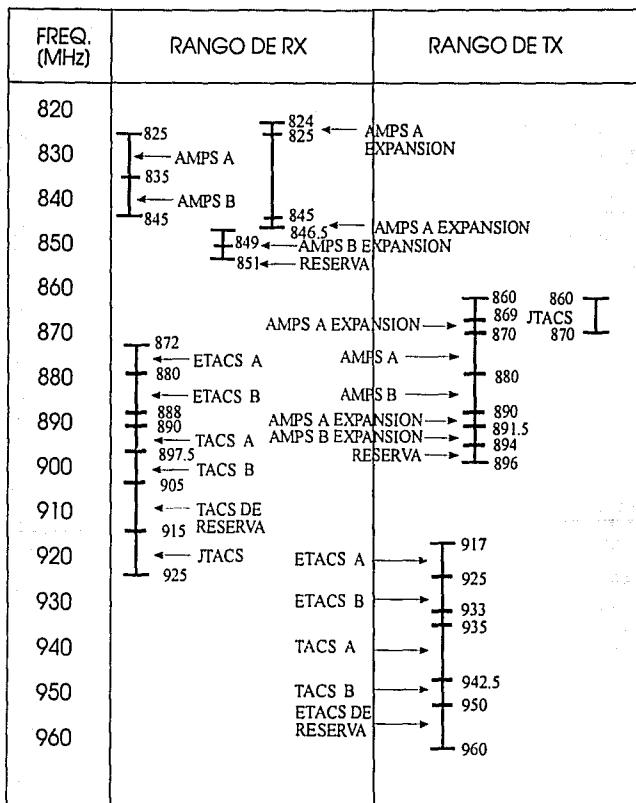


Figura L.3.1.2.-Bandas de frecuencia utilizadas por los sistemas de radiotelefonía móvil celular.

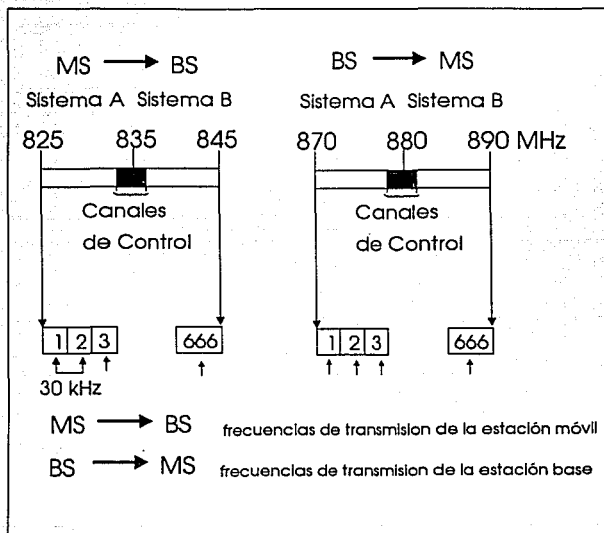


Figura 1.3.1.3.-Posición de los canales en sistema AMPS. La banda extendida no se muestra

Debido a la demanda de una mayor capacidad en la banda de frecuencias, dentro de las especificaciones de la FCC, esta ha sido extendida otros 166 canales de voz en total (para ambos sistemas) elevando a 832 el número de canales para cada uno de los sistemas.

NUMERO DE CANAL	FRECUENCIA DE TRANSMISION DE LA ESTACION BASE [MHz]	FRECUENCIA DE TRANSMISION DE LA ESTACION MOVIL [MHz]
334	880.030	835.030
335	880.060	835.060
336	880.090	835.090
337	880.120	835.120
332	889.960	844.960
333	889.990	844.990

Tabla I.3.1.2.-Posición de los canales y frecuencias en el sistema B de AMPS. No se muestra la banda expandida.

La separación entre canales, que es la distancia entre la frecuencia de las portadoras de dos canales consecutivos, por ejemplo entre el 310 y el 311, es de 30 kHz. La distancia duplex, que es la distancia entre la frecuencia de transmisión y la frecuencia de recepción en un mismo canal, es de 45 MHz.

I.3.2.-DEFINICION DE LAS UNIDADES MAS UTILIZADAS

Decibeles.-La gente escucha los cambios de potencia en forma logarítmica. Si se duplica el nivel de energía de un sonido el pulso produce solo un incremento de 3 dB en el nivel recibido, lo cual es apenas perceptible. El término dB se introdujo para definir niveles logarítmicos de potencia relativa.

El término dB se utiliza a menudo en sistemas de radio. Esencialmente, el nivel de dB es el logaritmo de una función logarítmica de potencias.

El dBm, la forma más común como se presentan los dB, es la medida de potencia de un sistema comparada con 1 miliwatt. Matemáticamente esto puede representarse como:

$$Potencia_{dBm} = 10 \log \frac{[Potencia\ W]}{0.001} = 10 \log \frac{[Potencia\ en\ miliwatts]}{1}$$

Entonces: $1\ watt = 10 \log \frac{1}{0.001} dBm = 30\ dBm$

dBμV/m es una unidad de fuerza de campo que compara el nivel medido con 1μV/m (un microvolt por metro).

Matemáticamente, esto es $dB\mu V/m = 20 \log \frac{[fuerza\ de\ campo\ en\ \mu V\ por\ metro]}{1}$

En este caso se utilizó 20 como factor de multiplicación ya que los términos utilizados son voltajes, no potencias; el cuadrado del voltaje da la relación de potencias.

En comunicaciones, los decibeles se emplean casi siempre en relaciones de potencia. De manera específica, si R es una relación de potencias, entonces:

$$R_{dB} = 10 \log_{10} R$$

e inversamente

$$R = 10^{(RdB/10)}$$

A continuación se da una tabla breve de conversiones de dB aproximadas para $1 \leq R \leq 10$

<u>R</u>	<u>RdB</u>	<u>R</u>	<u>RdB</u>
1	0	6	7.8
2	3	7	8.5
3	4.8	8	9.0
4	6	9	9.5
5	7	10	10

Si: $R = r \cdot 10^{\pm N}$
 entonces $R_{dB} = r_{dB} \pm 10 N$ donde r_{dB} se toma de la tabla
 N es el valor del exponente

Ejemplo: $49 \text{ dB} = (9+40)\text{dB} = 8 \cdot 10^4 = 80\ 000$
 $-4 \text{ dB} = (6-10)\text{dB} = 4 \cdot 10^{-1} = 0.4$

o de manera inversa

$6\ 000 = 6 \cdot 10^3 = (7.8 + 30) \text{ dB} = 37.8 \text{ dB}$
 $0.02 = 2 \cdot 10^{-2} = (3-20)\text{dB} = -17 \text{ dB}$

Los decibeles se emplean también para indicar valores absolutos de potencia agregando una tercera letra, es decir, W para watts y mW para miliwatts. Por ejemplo:

$$37 \text{ dBW} = 5 \cdot 10^3 \text{ W} = 5 \text{ kW}$$

$$0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

$$-21 \text{ dBm} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ mW} = 8 \mu\text{W}$$

Puesto que el decibel es una unidad logaritmica, los cálculos que incluyen multiplicación, división, potencias y raíces, se pueden desarrollar en forma directa en decibeles, como se muestra en el siguiente ejemplo:

$$V = \frac{W \cdot Y \cdot 3 \cdot Y}{Z}$$

$$V_{dB} = W_{dB} + 3X_{dB} + \frac{1}{2} Y_{dB} - Z_{dB}$$

Sin embargo, la suma y la resta precisan de la conversión de decibeles a valores numéricos.

I.3.3.-INTERFERENCIA Y RELACION SEÑAL A RUIDO

Interferencia. Es la contaminación por señales externas, generalmente artificiales y de forma similar a las de la señal. El problema es particularmente común en emisiones de radio, donde pueden ser captadas dos o más señales simultáneamente por el receptor. La solución a este problema de interferencia es obvia; consistiría en eliminar en una u otra forma la señal que interfiere o su fuente, lo cual no siempre es la solución práctica

Sea una señal expresada fasorialmente como

$$R(t) = A_R \cos Wc t \quad \text{donde } Wc \text{ es la frecuencia de la portadora}$$

y una señal de interferencia de la forma

$$I(t) = A_I \cos (Wc + W_I)t$$

entonces la resultante en fase de ambas señales es

$$\phi v(t) = \frac{A_I}{A_R} \text{ sen } W_I t$$

Para el caso de señales moduladas exponencialmente como la FM y la PM (modulación de fase) se tiene que:

$$y_D(t) = \frac{A_I}{A_R} \text{ sen } W_I t \quad \text{PM}$$

$$y_D(t) = \frac{A_I f_1}{A_R} \text{ sen } W_I t \quad \text{FM}$$

De las ecuaciones anteriores se desprende que la FM es menos vulnerable que la PM cuando $|f_1|$ es pequeña, puesto que la interferencia detectada es proporcional tanto a la amplitud como a la frecuencia de la onda interferente.

Esta última diferencia se puede entender con la ayuda de consideraciones físicas sencillas. La intensidad de una señal detectada en FM depende de la máxima desviación de

frecuencia. Las ondas interferentes cercanas a la frecuencia portadora no pueden provocar un cambio significativo en la frecuencia de la resultante y, por lo tanto, producen poco efecto. A mayor diferencia entre (f_c) y ($f_c + f_1$), corresponde una mayor desviación de frecuencia que hace que la salida de la demodulada sea proporcional a $|f_1|$. Pero para PM, la máxima desviación de fase depende solo de las amplitudes relativas, como se muestra en el diagrama fasorial de la figura I.3.3.1a

El comportamiento de la FM y de la PM respecto a la interferencia, se muestra mejor construyendo la gráfica de la amplitud de la señal $y(t)$ no filtrada (figura I.3.3.1b). En esta figura se ilustra que cuando la interferencia se debe a una fuente con frecuencia *co-canal*¹, entonces $f_c + f_1 \approx f_c$, si $|f_1|$ es pequeña, y es obvio que entonces la FM es menos vulnerable. Mientras que la PM tiene mejor comportamiento con respecto a la interferencia de *canal adyacente*, en la cual la $|f_1|$ es relativamente grande. En uno u otro caso, debe seguir al demodulador un filtro paso bajas de ancho de banda W para eliminar a las componentes de interferencia detectada que están fuera de la banda de mensaje, pero que no son rechazadas por el filtro de postdetección, es decir interferencia en $W < |f_1| < B_T/2$. Tal filtraje de postdetección, es deseable pero no constituye una necesidad de los sistemas de modulación lineal, dado que el ancho de banda de transmisión no es mayor que $2W$.

Relación Señal a Ruido. - Todos los sistemas de radio se encuentran limitados en su rango por el ruido. Cuando la presencia del ruido es tal que no pueda obtenerse una señal de calidad aceptable, se dice que el sistema está limitado en ruido.

Las radiodifusoras de onda media (banda de radiodifusión) y de onda corta operan en un ambiente con gran cantidad de ruido, el ruido de fondo limita el rendimiento en dichas bandas.

¹ Las expresiones *co-canal* (canal propio) y *canal adyacente*, se refieren a las estaciones que tienen asignada la misma frecuencia portadora o una adyacente. La interferencia co-canal también procede de frecuencias imágenes

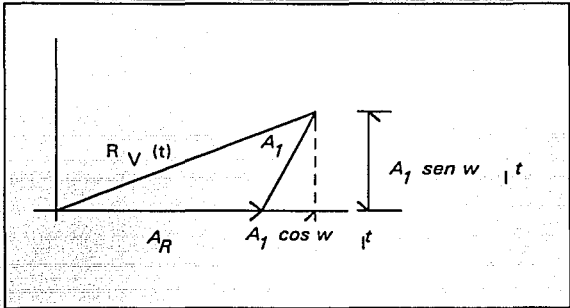


Figura L3.3.1.-Diagrama fasorial para sinusoides interferentes

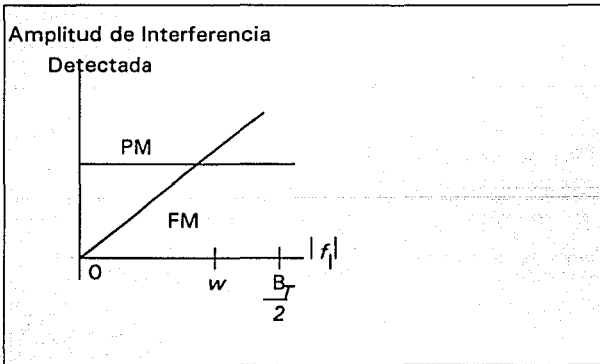


Figura L3.3.2.-Onda interferente de frecuencia $f_c + f_1$

Las bandas de VHF (Very High Frequency) y UHF (Ultra High Frequency), donde opera el radio celular, presentan relativamente menos ruido y la mayor parte del ruido se genera en el preamplificador de radiofrecuencia del receptor mismo. Sin importar que tan bien diseñado esté el receptor existe un nivel de potencia de ruido teórica que, a una temperatura dada, no puede ser sobrepasado. Esto se debe al ruido térmico, generado por el movimiento de partículas atómicas (en el receptor y en particular en el primer amplificador de radio frecuencia). Este ruido es proporcional a la temperatura de operación. Además la antena y las etapas de amplificación para RF generan ruido térmico continuamente. Es por ello que los receptores de alta calidad, como los usados en radiotelescopios, operan para su etapa de RF de entrada con amplificadores a temperaturas de Nitrógeno líquido.

Si se quiere obtener una señal relativamente libre de ruido, la señal entrante debe exceder el nivel de ruido por un margen considerable, conocido como relación señal a ruido. Para sistemas de radio celulares, este nivel se toma de 12 dB para una recepción apenas aceptable y de 30 dB para conversaciones de buena calidad.

La relación señal a ruido se expresa como:

$$S/N = \frac{\text{Nivel de señal [dB]}}{\text{Nivel de ruido [dB]}}$$

Dado que los nuevos receptores se aproximan bastante a los límites teóricos de ruido por la temperatura de operación que manejan, es posible que con un nivel de señal recibido mínimo se obtenga una relación señal a ruido satisfactoria.

Entonces cuando hablamos de un nivel alrededor de 39 dB μ V/m para un sistema AMPS, es equivalente a especificar el punto en el cual la relación señal a ruido se entiende como satisfactoria.

Un nivel "satisfactorio" de señal a ruido para sistemas celulares usualmente se entiende como uno donde el ruido es apenas perceptible. Para PMR (Radio Móvil Público) un nivel alto de ruido, pero utilizable, es satisfactorio.

1.3.4.-MODULACION

Cuando se tienen varias señales de entrada, estas no pueden ser enviadas directamente al canal como vienen del transductor. Para eso se modifica una onda portadora, cuyas propiedades se adaptan mejor al medio de transmisión en cuestión, para representar el mensaje. La modulación es la alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo con el mensaje (señal moduladora) y puede ser también una codificación.

Es interesante hacer hincapié en que muchas formas de comunicación no eléctricas también encierran un proceso de modulación, y la voz es un buen ejemplo. Cuando una persona habla, los movimientos de la boca ocurren de una manera más bien lenta, del orden de los 10 Hz, que realmente no pueden producir ondas acústicas que se propagen. La transmisión de la voz se hace por medio de la generación de tonos portadores, de alta frecuencia, en las cuerdas vocales, tonos que son modulados por los músculos y órganos de la cavidad oral. Lo que el oído capta como voz, es una onda acústica modulada, muy similar a una onda eléctrica modulada.

1.3.4.1.-TIPOS DE MODULACION.

El éxito de un sistema de comunicación depende en gran parte de la modulación, tan es así que el tipo de modulación es una decisión alrededor de la cual se realiza el diseño del sistema y por esta razón muchas técnicas de modulación han evolucionado y cubierto diversas tareas en innumerables sistemas. Y conforme aparezcan nuevas exigencias, se desarrollarán nuevas técnicas.

A pesar de la multitud de variedades, es posible identificar dos tipos básicos de modulación en relación a la clase de onda portadora: la *modulación de onda continua* (CW) en la cual la portadora es simplemente una forma de onda senoidal, y la *modulación por pulsos*, en la cual la portadora es un tren periódico de pulsos.

Puesto que la modulación de onda continua es un proceso continuo, es posible adaptarla a señales que están variando constantemente con el tiempo. Por lo general, la portadora senoidal es de mayor frecuencia que cualquiera de las componentes de frecuencia contenidas en la señal moduladora. El proceso de modulación se caracteriza pues por una traslación de frecuencia, es decir, el espectro del mensaje se corre hacia arriba a otra banda de mayor frecuencia.

La modulación de pulsos es un proceso discontinuo o discreto, en el sentido de que los pulsos aparecen solo en ciertos intervalos de tiempo. Por eso la modulación de pulsos se adapta mejor a los mensajes que son discretos por naturaleza. Con la ayuda del muestreo, las señales que varían continuamente pueden ser transmitidas sobre portadoras pulsadas.

A menudo, como es el caso de los telégrafos y los teletipos, la modulación de pulsos y la codificación van de la mano.

Como alternativa a la clasificación anterior, algunas veces es preferible designar a la modulación como analógica o codificada (digital). Esto es particularmente cierto en los sistemas más complejos que emplean ambas técnicas (modulación de CW y pulsada), haciendo distinción de su tipo indefinido de portadora. La diferencia entre analógica y digital es la siguiente: en la modulación analógica el parámetro modulado varía en razón directa a la señal moduladora. En la modulación codificada, ocurre una transformación digital, por medio de la cual el mensaje se cambia de un lenguaje simbólico a otro. Si el mensaje es originalmente una función continua del tiempo, debe ser muestreado y digitalizado (cuantificado) antes de ser codificado.

Dentro de la modulación de onda continua se encuentran los siguientes tipos (Figura I.3.4.1):

Modulación Lineal:

-Modulación de doble banda lateral

AM o Modulación en Amplitud

DSB o Doble Banda Lateral con portadora suprimida.

-Modulación de banda lateral suprimida

SSB o Modulación de banda lateral única

VSB o Modulación de banda lateral residual.

Modulación Exponencial:

-Modulación en Frecuencia o FM.

-Modulación en Fase o PM.

Figura I.3.4.1.-Tipos de modulación lineal.

Para los sistemas de modulación de pulsos vease la figura I.3.4.2

Las principales ventajas que se obtienen al modular son:

-Por la facilidad de radiación. Al tener frecuencias de portadora altas, el tipo de antenas utilizado se reduce en dimensiones, dado que al decrementarse la longitud de onda, se pueden obtener elementos radiadores que tengan como mínimo un décimo de la longitud de onda de la portadora.

-Reduce el ruido y la interferencia. En ciertos tipos de modulación se pueden suprimir tanto el ruido como la interferencia aunque para ello se requiera de un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el de la señal original.

I.-Modulación Analógica

Modulación en amplitud de pulsos o PAM

Modulación en duración de pulsos o PDM

Modulación en posición de pulsos o PPM

II.-Modulación digital

-De señales analógicas.

Modulación de pulsos codificados

Modulación por pulsos codificados o PCM

Modulación en delta o DM

Modulación diferencial por pulsos codificados o DPCM

-De datos

Manipulación por corrimiento de amplitud o ASK

Manipulación por corrimiento de frecuencias o FSK

Manipulación por corrimiento de fase o PSK

Figura I.3.4.2.-Tipos de modulación digital

-Permite manejar gran cantidad de mensajes. Al asignar frecuencias distintas se permite que las señales de radio puedan ser fácilmente acomodadas dentro del espectro de frecuencias sin que se sobrepongan unos mensajes con otros.

-Por la facilidad de multicanalización. Ya que permite enviar gran número de señales entre dos puntos por un mismo medio de transmisión.

-Porque permite manejar bandas del espectro que no impongan demasiadas restricciones en el diseño del equipo tanto de transmisión, como de recepción.

L3.5.- TIPOS DE MODULACION EMPLEADOS EN TELEFONIA CELULAR.

En el funcionamiento del sistema de telefonía celular se tienen cuatro tipos de modulación, que se aplican a diferentes trayectorias de comunicación dentro del mismo; para un mejor entendimiento de lo anterior, podemos visualizar estas trayectorias llamandolas subsistemas de comunicación, teniendo en mente que solo es para fines de apreciación, ya que estos subsistemas no se mencionan en la descripción de los elementos que componen el sistema de telefonía celular; estos subsistemas se pueden describir de la siguiente manera:

1.- Subsistema de comunicación entre enlaces de la Central Celular y de la Estación Radiobase, y viceversa; en este subsistema normalmente se emplean equipos para enlaces de microondas o enlaces por medio de fibras ópticas, manejándose altas frecuencias para este propósito.

2.- Subsistema de comunicación entre canales y enlace de Estación Radiobase, y viceversa; este subsistema es el encargado de adecuar las señales de voz y de control que se procesan en la Estación Radiobase para ser enviadas a la Central Celular por medio del subsistema 1.

3.- Subsistema de comunicación entre canales y enlace de la Central Celular y viceversa; este subsistema es análogo al anterior, solo que el proceso se lleva en la Central Celular.

4.- Subsistema de comunicación entre Estación Móvil y Estación Radiobase, y viceversa; en este subsistema se utiliza la banda de telefonía celular que va de 825 a 890 [MHz] o de 824 a 894 [MHz] cuando se emplea la banda expandida. Los subsistemas descritos anteriormente se pueden apreciar en la figura I.3.5.1.

En el subsistema 1 se hace uso de enlaces digitales, empleándose como principales técnicas de modulación las siguientes:

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation - Modulación de Amplitud en cuadratura).
- PSK (Phase Shift Keying - Manipulación por Corrimiento de Fase).
- FSK (Frequency Shift Keying - Manipulación por Corrimiento de Frecuencia).

- CP-FSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying - Manipulación por Corrimiento de Frecuencia Fase Continua).

- FFSK (Fast Frequency Shift Keying, que es más bien, un caso especial de CP-FSK).

El tipo de modulación dependerá de la capacidad a emplearse en este subsistema y del equipo (marca del mismo) que se piense utilizar, teniendo como parámetro importante el costo del mismo.

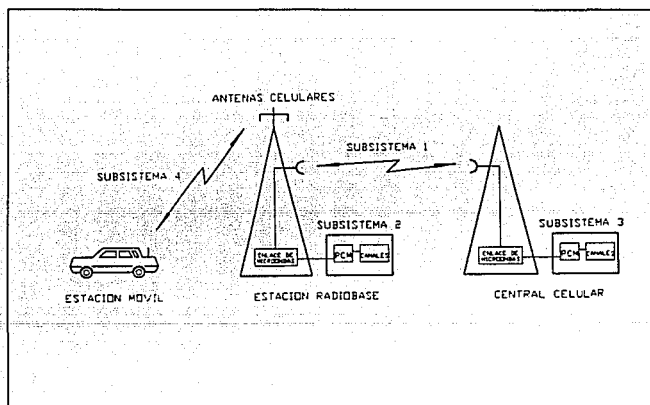


Figura 1.3.5.1.- Diagrama de los diferentes subsistemas de comunicación en el sistema de telefonía celular.

En los subsistemas 2 y 3, que son similares, se emplea el tipo o técnica de modulación conocida como PCM (Pulse Coded Modulation - Modulación por Pulsos Codificados), que básicamente consiste en convertir señales analógicas en señales digitales codificadas; para el caso del sistema en estudio las señales analógicas a digitalizarse y codificarse, son señales de voz para

telefonía que varían en un rango de 0.3 a 3.3 [KHz]; esta señal moduladora que se compone de un grupo continuo de valores es muestreada a una velocidad de 8 [KHz], que es un valor superior al que se obtiene de la velocidad de muestreo de Nyquist, la cual nos indica lo siguiente:

$$f_c \geq 2B$$

donde:

f_c es la frecuencia de la velocidad de muestreo.

B es el límite superior del ancho de banda de la señal a muestrear.

Al haberse realizado este proceso se obtiene un tren de impulsos PAM (Pulse Amplitude Modulation - Modulación por Amplitud de Pulsos).

Teniéndose la señal ya muestreada (tren de impulsos PAM), se pasa al proceso de cuantización, el cual consiste en la subdivisión de las amplitudes de las señales en un predeterminado número de niveles discretos de amplitud, al pasar por este proceso se obtiene una señal cuantizada (en la figura 1.3.5.2 se muestran gráficamente los distintos tipos de señales obtenidas en estos procesos); después de obtener esta señal se sigue con un proceso de codificación, en donde se asignan 7 bits de información más uno que determina el signo por cada muestra. De aquí se puede deducir el número de niveles discretos que se manejan en la cuantización que es $2^7 = 128$ niveles de cuantización, lo que es aceptable para transmitir en forma digital una señal de voz, para que esta sea inteligible al momento de convertirla de digital a analógica.

Al haberse realizado estos procedimientos se obtiene una señal digital de voz con una velocidad de transmisión de 64 [Kbits/seg], que se obtiene a partir de :

$$V. T. = f_c [\text{muestras/seg}] \cdot n [\text{bits/muestra}]$$

$$V. T. = 8\,000 [\text{muestras/seg}] \cdot 8 [\text{bits/muestra}]$$

$$V. T. = 64\,000 [\text{bits/seg}] = 64 [\text{Kbits/seg}]$$

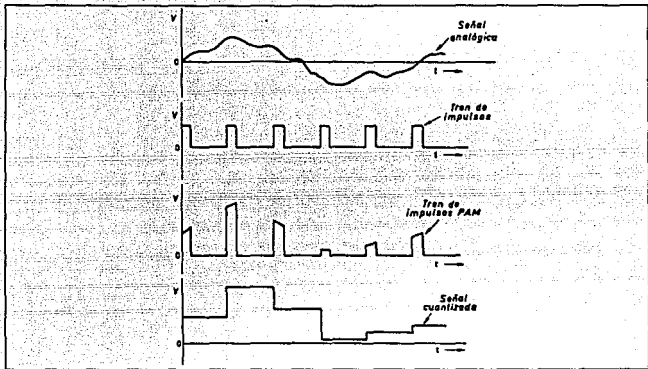


Figura 1.3.5.2.- Tipos de señales obtenidas en los procesos de muestreo y cuantización.

Estos procesos se realizan para 30 canales de voz a la vez, los cuales son multiplexados junto con 1 canal de control y 1 canal de sincronización, dando como resultado un multiplexaje de 32 canales, que son enviados en una sola línea con una velocidad de transmisión de 2.048 [Mbits/seg], que es la resultante de multiplicar $32 \cdot 64$ [Kbits/seg]; el equipo empleado para estos fines se conoce como equipo PCM de primer orden.

Para el subsistema de comunicación 4, se emplean dos tipos de modulación, uno es para señales de voz en donde se emplea una modulación analógica conocida como FM (Frequency Modulation - Modulación en Frecuencia), cuyo proceso consiste en variar la frecuencia de una onda portadora proporcionalmente a una señal moduladora, la amplitud de la portadora de una onda de FM se mantiene constante durante la modulación y de este modo la potencia asociada con una onda de FM es constante; durante la modulación, la frecuencia portadora aumenta

cuando la tensión moduladora se incrementa en valores positivos y disminuye cuando la tensión moduladora pasa por valores negativos (figura I.3.5.3).

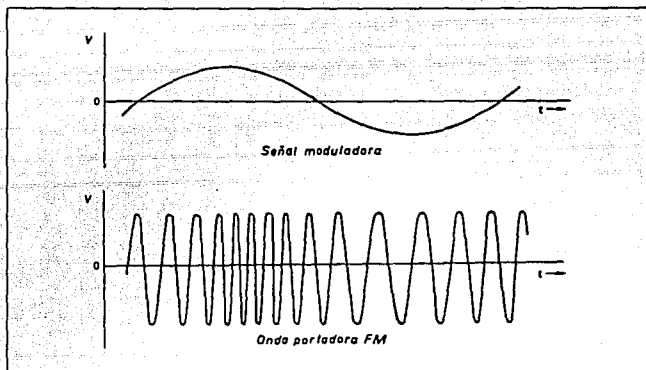


Figura I.3.5.3.- Señal Moduladora y Onda portadora de FM vistas con respecto al tiempo.

La máxima diferencia que puede tener la portadora modulada en frecuencia con respecto a la frecuencia de la portadora sin modular es llamada " Desviación de Frecuencia " y se simboliza por f_{Δ} , a la relación existente entre la desviación de frecuencia y el ancho de banda de la señal moduladora en banda base se le llama " Índice de Modulación " y se simboliza con la letra Δ , esta relación esta dada como sigue:

$$\Delta = \frac{f_{\Delta}}{B}$$

donde:

B es el ancho de la señal moduladora.

Para el cálculo del ancho de banda de una señal modulada en FM se emplea la relación conocida como "Regla de Carlson", que nos indica:

$$AB = 2 (f_d + B)$$

donde:

AB es el ancho de banda de la señal de FM.

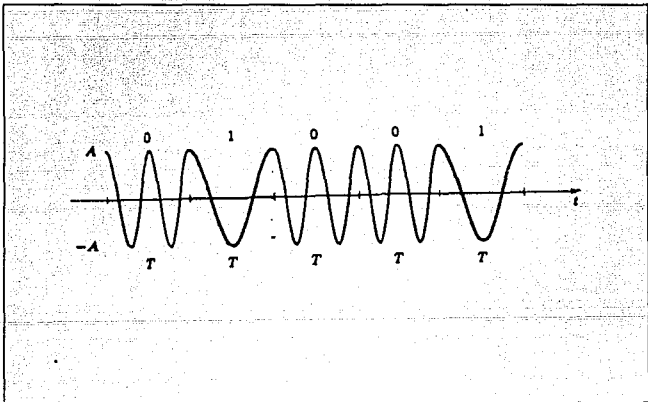


Figura L3.5.4.- Señal modulada en FSK.

El otro tipo de modulación empleado es para las señales de control, en donde se utiliza una modulación digital que es FSK, este tipo de modulación es análogo al de FM, solo que para este caso la señal moduladora es una señal digital, por lo que los cambios de frecuencia de la portadora se simplifica solo a dos valores (las señales digitales solo presentan un tren de impulsos

en donde estos solo toman dos valores, un nivel bajo y un nivel alto), en la figura I.3.5.4 se muestra una señal de FSK, en donde se puede apreciar que para un nivel lógico 0 se tiene una frecuencia predeterminada alta, y para un nivel lógico 1, se tiene una frecuencia predeterminada más baja que la anterior; para este tipo de modulación se tienen los mismos parámetros para la obtención del ancho de banda que en FM. Por lo que se refiere a telefonía celular la desviación de frecuencia en modulación no debe exceder 12 [KHz] (esto va de +12 a -12 [KHz]).

Estos tipos de modulación son empleados para este subsistema debido a que tienen una alta relación señal a ruido, que redundo en una buena calidad de llamadas realizadas por usuarios del sistema de telefonía celular.

I.3.6.- DIFERENTES TRAYECTORIAS DE PROPAGACION.

La energía radiada por una antena transmisora puede alcanzar a la receptora a lo largo de muchas trayectorias posibles de propagación, las ondas que llegan al receptor después de una reflexión o dispersión en la ionosfera se conocen como ondas celestes o bien como ondas reflejadas o dispersadas ionosféricamente, las ondas que se reflejan o dispersan en la troposfera (región de la atmósfera que alcanza los diez kilómetros de altura) se denominan ondas troposféricas; la energía propagada por otras trayectorias próximas a la superficie de la tierra se consideran como ondas terrestres; es conveniente dividir la señal de la onda terrestre en onda espacial y onda superficial, la onda espacial puede formarse por la onda directa, señal que sigue un trayecto directo del transmisor al receptor, y la onda reflejada en tierra, que es la señal que llega al receptor después de haber sido reflejada en la superficie de la tierra. La onda espacial incluye también la parte de energía recibida como resultado de la difracción rodeando la superficie terrestre y refractándose en la atmósfera superior; la onda superficial es una onda guiada a lo largo de la superficie de la tierra de un modo parecido a la onda electromagnética guiada por una línea de transmisión.

Se sustrae energía de esta onda superficial para cubrir las pérdidas que hay en la tierra, así, la atenuación de esta onda está afectada directamente por las constantes de la tierra que encuentra a su paso; cuando en un sistema de comunicaciones se tienen antenas situadas en la propia superficie terrestre las componentes directa y reflejada en tierra de la onda espacial se anulan entre sí, y la transmisión se debe enteramente a esta onda de superficie (suponiendo la inexistencia de ondas celeste o troposférica).

En general se tiene que respecto al comportamiento de propagación de las ondas electromagnéticas se deben establecer dos puntos de vista que son: el punto de vista físico y el punto de vista de aplicación.

Desde el punto de vista físico las ondas de propagación se pueden dividir en los siguientes tipos:

- a) Onda directa
- b) Onda reflejada
- c) Onda refractada
- d) Onda difractada
- e) Onda superficial
- f) Onda dispersa

Desde el punto de vista de su aplicación o aprovechamiento existe otra clasificación:

1.- Onda de tierra:

- a) Onda directa.
- b) Onda reflejada en la tierra.
- c) Onda difractada en la tierra.
- d) Onda superficial.

2.- Onda del espacio.

- a) Onda troposférica.
 - a. 1) Onda de reflexión y refracción en la troposfera.
 - a. 2) Onda dispersa en la troposfera.

b) Onda ionosférica.

b.1) Onda de reflexión y refracción en la ionosfera.

b.2) Onda dispersa en la ionosfera.

La figura I.3.6.1 muestra las formas de las ondas de propagación, en donde apreciamos:

- 1.- Onda directa.
- 2.- Onda reflejada.
- 3.- Onda difractada.
- 4.- Onda superficial.
- 5.- Onda dispersa en la troposfera.
- 6.- Onda de reflexión y refracción en la ionosfera capa E.
- 7.- Onda de reflexión y refracción en la ionosfera capa F.

Considerando lo anterior se puede establecer una relación entre la banda de operación de un sistema de comunicaciones (LF, MF, HF, etc.) y el comportamiento de la propagación de las ondas electromagnéticas, ya que estas no se propagan con iguales características si difieren en frecuencia.

Las bandas LF y MF son usadas para largas distancias, la reflexión en las capas ionosféricas es la más apropiada, pues la absorción (refracción) y atenuación que sufren durante la propagación es mínima.

La banda de HF es usada para media y larga distancia de acuerdo con la hora de operación, pues durante la noche al enfriarse las capas ionosféricas, tienden a elevarse y durante el día descienden por la acción calefactora del sol, esto provoca variaciones en los ángulos de reflexión.

En la banda de VHF se presentan comportamientos de ondas directas, reflejadas y difractadas, las cuales sufren de mayor atenuación y al estar por encima de la banda de VHF pueden cruzar las capas de la ionosfera para salir al espacio exterior y comunicarse con los satélites (UHF y SHF); las bandas altas VHF, UHF y SHF también se utilizan para la comunicación directa de punto a punto (onda directa).

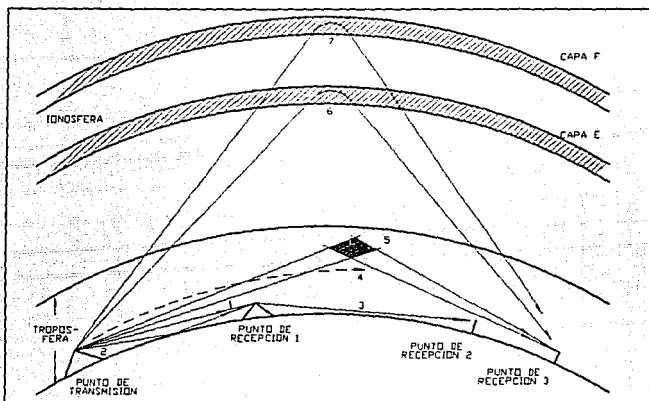


Figura L3.6.1.- Formas de las ondas de propagación.

Lo descrito anteriormente se puede resumir en la tabla I.3.6.1.

Las bandas LF, MF y HF comprenden las ondas superficiales e ionosféricas, las bandas VHF y UHF engloban las ondas de tierra y troposféricas, la SHF abarca las ondas directa y troposférica, la EHF sólo incluye la onda directa.

A continuación se describen las tres propiedades físicas inherentes a una onda electromagnética, que son refracción, reflexión y difracción.

Una onda electromagnética que viaje horizontalmente en la atmósfera de la tierra sigue una trayectoria que tiene una ligera curvatura descendente, debida a la refracción de la onda en la atmósfera, esta curvatura de la trayectoria tiende a compensar parcialmente la pérdida de señal debida a la curvatura de la tierra, permitiendo que el rayo directo alcance puntos algo más allá del horizonte visible.

Distancia de Comunicación	100 Km o menor		100 a 800 Km		800 a 4 000 Km		4 000 Km o más	
	Onda Superficial	Directa	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
LF	X		X	X	X	X	X	X
MF	X		X	X	X	X	X	X
HF	X			X				
VHF		X						
UHF		X						
SHF		X						
EHF		X						

Tabla I.3.6.1.- Forma de propagación a varias distancias.

La refracción de una onda electromagnética en la atmósfera se debe a que la constante dieléctrica de la atmósfera, y por tanto su índice de refracción, varían con la altura sobre el suelo. La constante dieléctrica del aire es ligeramente mayor que la unidad, que es el valor asignado al vacío, y la presencia del vapor de agua la aumenta aún más, por esta razón la constante dieléctrica de la atmósfera es mayor que la unidad cerca de la superficie terrestre, si bien disminuye a la unidad a gran altura, donde la densidad del aire tiende a cero; la refracción es la que resulta de esta disminución gradual de la constante dieléctrica de la atmósfera con la altura.

Si una onda electromagnética atraviesa medios que se encuentran en capas paralelas, cada una con una diferencia en el índice de refracción, ésta se refractará en el límite correspondiente de los diferentes medios y se propagará en forma de curva, figura I.3.6.2; en esta se cumple que:

$$N_1 \cdot \cos \alpha_1 = N_2 \cdot \cos \alpha_2 = N_3 \cdot \cos \alpha_3 = \dots = N_n \cdot \cos \alpha_n$$

Esta expresión o relación se conoce como la Ley de Snell, en donde N es el valor del índice de refracción para un medio determinado y α el valor del ángulo en que es refractada la onda al pasar por ese medio.

La segunda propiedad física inherente a las ondas electromagnéticas es la reflexión, que se puede describir de una manera sencilla como sigue; si existe una onda directa E_d del punto transmisor T al punto receptor R (figura I.3.6.3), entonces, habrá una onda reflejada E_r tal que:

$$E = E_d + E_r e^{-j\phi}$$

donde:

E_d es la amplitud de la onda directa.

E_r es la amplitud de la onda reflejada.

E es la amplitud total equivalente en el punto de recepción de la onda directa más la reflejada, considerando una diferencia en fase ϕ .

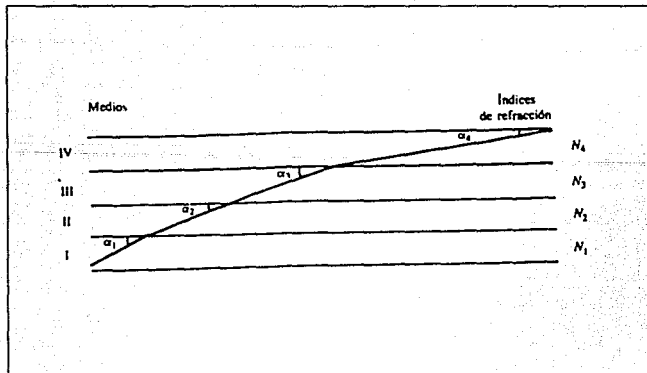


Figura I.3.6.2.- Medios con diferentes índices de refracción.

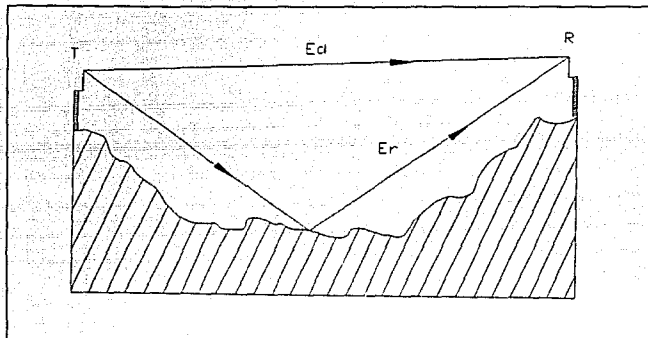


Figura I.3.6.3.- Reflexión de una onda electromagnética.

La onda reflejada debe conocerse perfectamente, ya que su presencia en el punto receptor origina la interferencia en la señal directa; en los cálculos de propagación se requiere analizar, en el marco del perfil topográfico, el punto exacto donde ocurre la reflexión de la onda y evitarla mediante el artificio de la ubicación estratégica de torres o la variación de altura de antenas en transmisión y/o recepción, esto no siempre es fácil y requiere de una atención especial; en el caso de una topografía irregular se logra esta anulación en forma natural en la mayoría de las ocasiones (figura I.3.6.4).

La tercera propiedad es la difracción y consiste en que las ondas de radiocomunicación, como el sonido o la luz, al encontrar un obstáculo en su trayectoria sufren una desviación parcial de sus componentes produciéndose una intensidad de campo detrás del obstáculo, que es relativamente menor a la intensidad de las ondas en su trayectoria sin estos, es decir, cuando la ondulación sufre una difracción en un obstáculo, se presenta una pérdida de difracción que esta en proporción directa a la longitud h del obstáculo y en proporción inversa a la raíz cuadrada de la longitud de onda λ (figura I.3.6.5), como se puede interpretar en la siguiente fórmula:

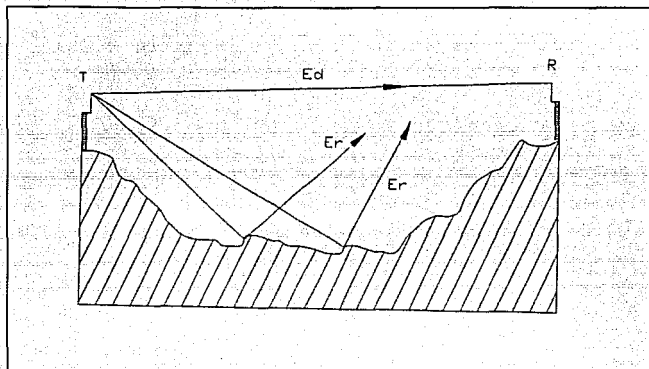


Figura I.3.6.4.- Eliminación natural de las ondas reflejadas.

$$P_D \propto \frac{h}{\sqrt{\lambda}}$$

donde P_D se conoce como pérdida de difracción.

De esta expresión podemos notar que mientras más alta es la frecuencia, menor es λ y por lo tanto es más grande la pérdida, esto se puede deducir de la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde:

c es la velocidad de la luz.

f es la frecuencia de la onda de propagación.

La difracción lejos de constituir un defecto es una ventaja, ya que gracias a ella se obtiene comunicación en valles, cuencas y detrás de los montes elevados.

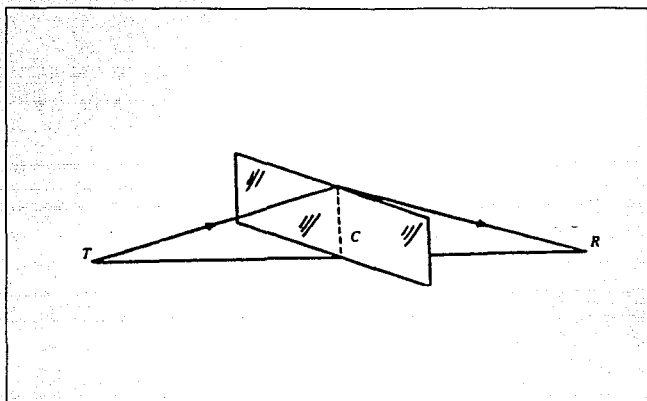


Figura I.3.6.5.- Representación gráfica del efecto de la difracción.

En lo referente a telefonía celular, debido a su rango de frecuencias (800 a 900 [Mhz] aproximadamente), se tienen tres propiedades de propagación predominantes que son: por trayectoria directa, que no solo se puede considerar por línea de vista, sino también considerando efectos de refracción; por efectos de difracción, que aunque a estas frecuencias, igual que para la refracción sus efectos decresen, aún son importantes para considerarlos en cobertura; y la tercer propiedad, que es la reflexión, es también significativa en la banda de frecuencia celular; gracias a esta propiedad es posible brindar servicio en zonas con alta densidad de construcciones, en donde es inaccesible el servicio por medio de una trayectoria directa de propagación.

I.3.7.- MODELO PARA CALCULO DE PERDIDAS POR PROPAGACION.

Para la obtención de un modelo matemático se consideran los siguientes tres factores:

Pérdidas por trayectoria de línea directa (espacio libre), desvanecimientos por obstrucciones, también conocidas como sombras o pérdidas por difracción y desvanecimientos por efecto de multitrayectoria debido a reflexiones en obstáculos o en la tierra.

La figura I.3.7.1 ilustra las pérdidas por trayectoria de línea directa, que solo son afectadas por el espacio libre, estas pérdidas son más significativas en enlaces de microondas, ya que en telefonía celular no siempre se tiene una línea de vista directa entre la estación móvil y las antenas de la estación radiobase.

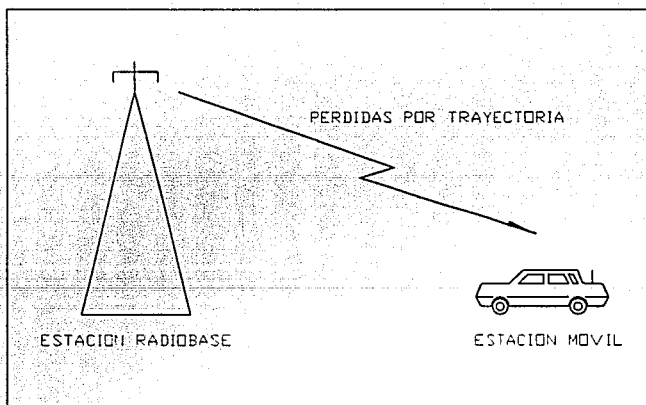


Figura I.3.7.1.- Pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

Las pérdidas debidas a la trayectoria en el espacio libre P_L estan definidas de la siguiente manera:

$$P_L = 20 \log (42 \cdot d_{Km} \cdot f_{MHz}) - 32.5 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{Km}$$

donde:

d_{Km} es la distancia en kilómetros

f_{Mhz} es la frecuencia en megahertz

La figura I.3.7.2 muestra los desvanecimientos normales logarítmicos, este proceso es llamado de esta manera debido a que la distribución de intensidad de campo sigue una curva normalmente distribuida, suministrando la intensidad de campo en medidas logarítmicas.

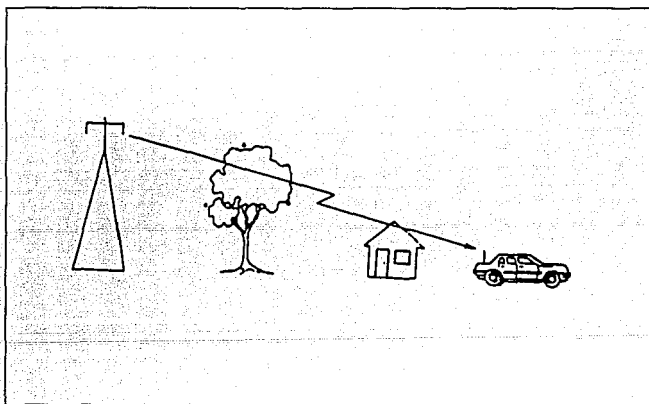


Figura I.3.7.2.- Desvanecimiento normal logarítmico debido a obstrucciones.

Los desvanecimientos por multitrayectoria, son un parámetro sobresaliente en un sistema de telefonía celular y, para algunos casos significativos, limita la cobertura del sistema cuando la estación móvil se desplaza en un medio con características de este tipo, ya que en estos medios se tienen bajos niveles de señal debido a tal efecto, causando variaciones en los niveles de ruido durante la llamada. La figura I.3.7.3 ilustra este tipo de pérdidas.

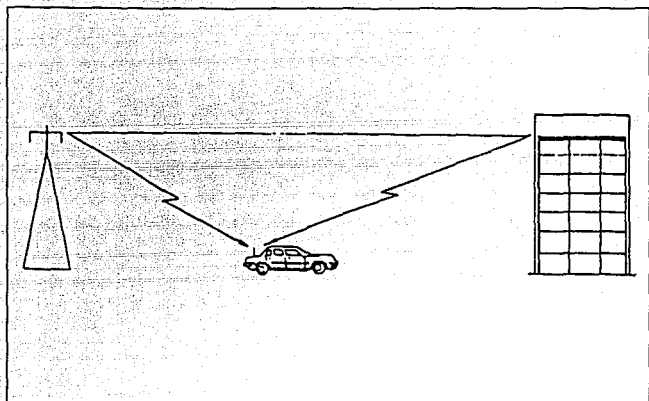


Figura 1.3.7.3.- Efecto de desvanecimientos por multitrayectoria.

Una fórmula empírica que acumula los efectos de estos tres tipos de pérdidas aplicadas a telefonía celular, es la que se presenta en Recomendaciones y Reportes de la CCIR, 1982, Volumen V, Reporte 567-2, en donde se tiene lo siguiente:

$$P_L = 69.55 + 26.16 \log f_{MHz} - 13.82 \log h_1 - a(h_2) + (44.9 - 6.55 \log h_1) \cdot \log d_{km}$$

donde:

P_L son las pérdidas por propagación en dB

f_{MHz} es la frecuencia del sistema en megahertz

h_1 es la altura de las antenas de la Estación Radiobase en metros

h_2 es la altura de la antena en la Estación Móvil

$$a(h_2) = (1.1 \log f_{MHz} - 0.7) \cdot h_2 - (1.56 \log f_{MHz} - 0.8)$$

d_{Km} es la distancia a estudio en kilómetros

y para esta fórmula, se considera que el 15 % del área en estudio está cubierta por edificios (esto es, un área urbana).

Esta fórmula esta basada por experiencias en mediciones de campo, en la que la experiencia dicta que en diferentes terrenos algunos o todos los coeficientes de esta deberán ser recalibrados para mantener una buena exactitud en los cálculos; esta se puede emplear para usos generales en el diseño de cualquier sistema, en el cual difieran las condiciones de terreno a las establecidas para esta fórmula, considerando una precisión de ± 10 dB.

Es común decir que en el entorno de sistemas de comunicación móviles, las pérdidas son inversamente proporcionales a la distancia a la cuarta potencia, como podemos ver, esto es consistente con la fórmula en su último término $(44.9 - 6.55 \log h_1) \cdot \log d_{Km}$, este es el único que es función de la distancia, si por ejemplo, $h_1 = 30$ m (altura de antenas en la Estación Radiobase), entonces este se convierte en $35.2 \log d_{Km}$, y ya que esta es una expresión para pérdidas en dB, lo anterior lo podemos reescribir de la siguiente manera:

$$\text{Pérdidas} \propto \frac{1}{d_{Km}^{3.52}}$$

reduciéndose este termino relativamente complejo de la fórmula a aproximadamente d_{Km}^{-4} ; la relación de la cuarta potencia es exacta para una altura de antenas de 5.6 m.

Para obtener una fórmula más precisa dependiendo de las condiciones de terreno y de construcción en un sistema a implementarse, se tendría que elaborar un análisis complejo, basado en mediciones de campo y en fórmulas de propagación, lo que redundaría en tiempo e inversión para estos estudios; en diversos libros se explica la manera de obtener esta fórmula, en base a estudios matemáticos de propagación y en base a mediciones de campo, que son bastante largos y algunas veces complicados, debido a que se toman experiencias y consideraciones prácticas, por lo que para tratar este tema se tendría que pensar en un trabajo especialmente dedicado a esto,

para una buena explicación y entendimiento (como bibliografía se sugiere " Mobile Communications Design Fundamentals ", William C. Y. Lee, Howard W. Sams & Co.).

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR

II.1.-ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE TELEFONIA CELULAR

II.1.1.-EL MSC O CONMUTADOR CELULAR DIGITAL

La conmutación y el sistema de radio, en los sistemas celulares, interactúan de una forma muy especial por lo que en ambas áreas las personas involucradas en el soporte técnico deben tener conocimientos en dos temas, que por tradición no están relacionados entre sí.

La parte de conmutación funciona de la misma forma que en la telefonía convencional. Esto es que dos teléfonos celulares o Estaciones Móviles se "conectan" en forma temporal por medio de una ruta dedicada, por el tiempo que dure una llamada.

Tan pronto como el conmutador crece en tamaño, el número total de trayectorias posibles se incrementa en la misma forma.

Los conmutadores en tiempo se pueden manejar con técnicas digitales. Estos conmutadores funcionan bajo el principio de conmutar una entrada en particular a una salida en particular en un cierto intervalo de tiempo. Ver figura II.1.1.1

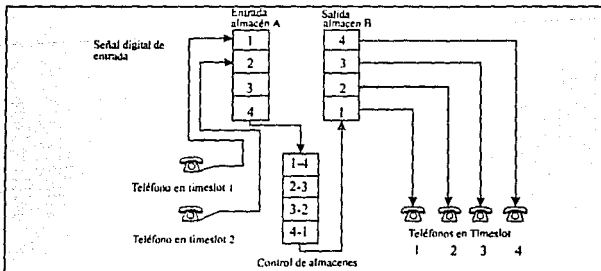


Figura II.1.1.1.-Conmutador de tiempo utiliza timeslots para conectar cualquier entrada a cualquier salida

En la figura II.1.1.1 cada línea telefónica se muestrea en su respectivo timeslot o ranura de tiempo; el teléfono en el timeslot 1 del almacén A está conectado al teléfono en el timeslot 4 del lado B. Observe que la conmutación se realiza al rearmar los timeslots, no mediante un cableado físico, de modo que la información puede ser enviada a través de una sola trayectoria entre los conmutadores A y B.

Las centrales telefónicas modernas (y los conmutadores de radio celular) generalmente utilizan una combinación de conmutación en tiempo y espacio para minimizar el hardware empleado.

II.1.1.1.-TIPOS DE CONMUTADORES

CONMUTADORES SPC O DE CONTROL POR PROGRAMA ALMACENADO

Los conmutadores del tipo SPC ó control por programa almacenado utilizan ordinariamente ambos tipos de conmutación en un solo switch ó conmutador. Dichos conmutadores vienen en varios tamaños, dependiendo de la capacidad requerida, y vienen diseñados para instalarse en cuartos que cuentan con aire acondicionado.

CONMUTADOR CONCENTRADO

La fig. II.1.1.2 muestra un conmutador concentrado simple. El conmutador no se bloquea fácilmente dado que cada entrada tiene acceso potencial a cada salida. Aún así, la llamada puede quedar bloqueada debido a que el número de llamadas permitidas está limitado por el número de rutas salientes; en el conmutador mostrado se pueden realizar tres llamadas en forma simultanea.

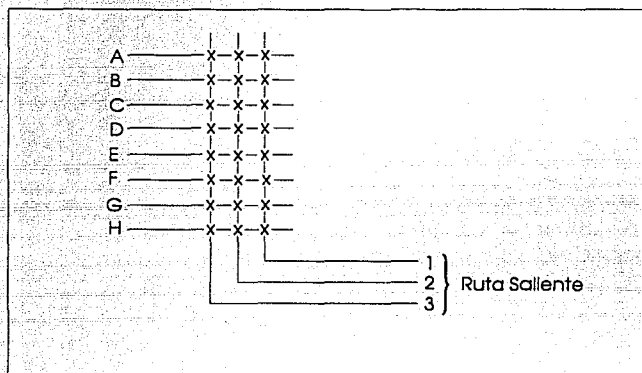


Figura II.1.1.2.-Conmutador concentrado de disponibilidad limitada.

Las 8 entradas A-H son concentradas hacia las tres rutas salientes (1-3) mediante la activación de las intersecciones; sólo un interruptor en cualquier renglón o columna puede cerrarse a la vez. Este principio, llamado concentración de línea, se utiliza de manera extensiva en todos los conmutadores analógicos.

Una Radiobase actúa como un concentrador de línea ya que enlaza a los suscriptores móviles con el conmutador celular de modo que aproximadamente 20 suscriptores móviles pueden comunicarse con el conmutador por medio de un canal.

Los conmutadores vistos anteriormente tienen una desventaja práctica muy significativa: la conexión entre cualquier ruta de entrada con otra de salida ocurre por medio de una sola trayectoria. La falla en algún punto de cruce significa que ciertas trayectorias no están disponibles más tiempo. Sin embargo, esta limitación se puede superar introduciendo una segunda línea de interruptores, como se ve en la figura II.1.1.3.

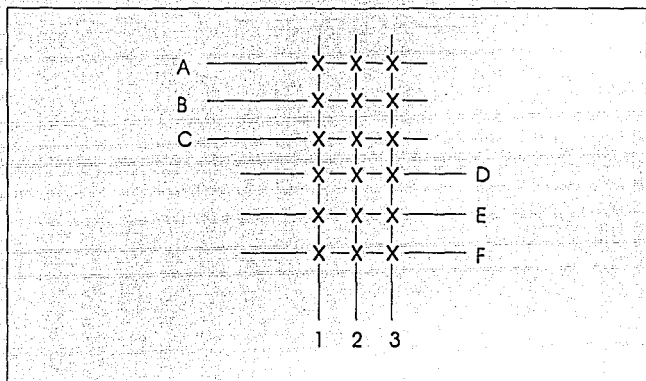


Figura II.1.1.3.-Conmutador con trayectorias internas múltiples entre entradas y salidas.

En la figura II.1.1.3 se puede ver que la trayectoria entre los dos puertos (por ejemplo B y D) pueden conectarse mediante la unión entre las líneas B y D en cualquiera de las rutas 1 a 3. Por ejemplo, B puede conectarse uniendo la intersección B-1 con 1-D o B-2 con 2-D y así.

Esto produce tres trayectorias conectando B a D. Si bien esta configuración duplica el número de interruptores, tiende a redundar en forma costosa las trayectorias internas.

MARCACIÓN DTMF O POR TONOS.-En muchos sistemas aún es común el empleo de la marcación por tonos (DTMF ó Dual-Tone Multi-Frequency). En dichos sistemas dos tonos se envían simultáneamente por una línea para indicar el número deseado. La figura II.1.1.4 muestra las parejas de tonos y sus frecuencias asociadas. Las teclas A, B, C y D no se aplican más que para propósitos especiales.

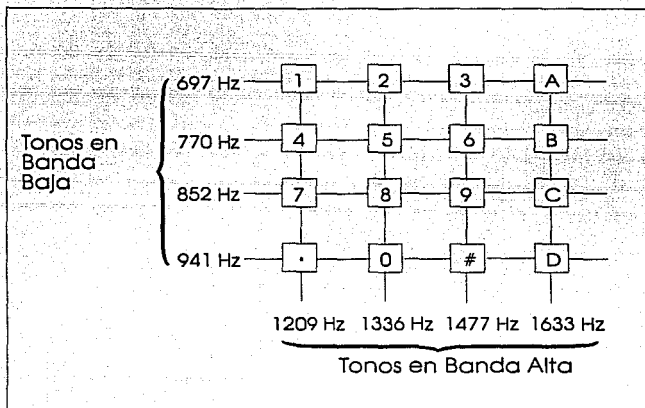


Figura IL.1.1.4.-Sistema estándar de marcación por tonos.

La marcación por DTMF ha estado disponible por varias décadas. Se diseñó para aprovechar el incremento en la velocidad de marcación debido al uso de decodificadores con memoria para almacenar los dígitos y enviarlos tan pronto como la central los requiera.

En los sistemas por tonos (SXS o paso a paso), cada número marcado representa un tren de pulsos que causa la conmutación mecánica en tiempo real, haciéndose necesariamente lenta.

Con los sistemas por cruce (y en algunos SXS modificados) los receptores de código se introdujeron como equipo de la central: estos se "conmutaban" a través de la línea del suscriptor, el tiempo que duraba el discado del número telefónico, para decodificarlo y posteriormente almacenar los pulsos DTMF, los cuales podían enviarse posteriormente con

la velocidad deseada. A pesar de que la marcación por tonos es una característica de casi todos los teléfonos celulares, esto no es una idea nueva.

Cada par de tonos en el esquema DTMF consiste de un tono de banda alta y un tono de banda baja; esto incrementa la inmunidad ante una falsa decodificación por voz o ruido; también permite una mínima relación señal a ruido y un correspondiente nivel de entrada bajo entre los niveles de tono para la correcta decodificación de estos. Los tonos están estructurados en base a números primos lo cual evita una falsa decodificación por señales de voz o ruido.

CONMUTADORES DE BLOQUEO O DE DISPONIBILIDAD LIMITADA

En su forma más simple estos conmutadores pueden transmitir información por una sola salida, de modo que si por otra se está mandando información, esta se pierde durante el tiempo que transmita por la otra salida.

El conmutador telefónico más simple se deriva de dicho concepto, como se ve en la figura II.1.1.5

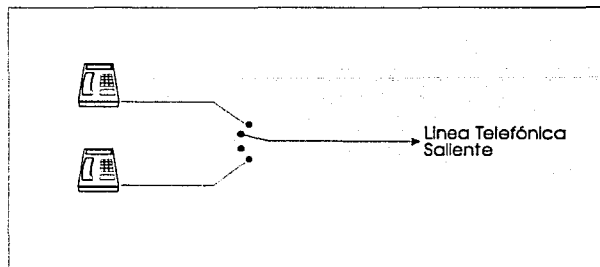


Figura II.1.1.5.-Conmutador de línea de selección única

Este conmutador tan simple permite a cierto número de teléfonos compartir una sola línea, pero solo uno de ellos puede utilizarlo a la vez. Las etapas de conmutación en los teléfonos de los suscriptores estarán siempre limitadas a la disponibilidad de los conmutadores. Esto es porque una de las principales funciones en el conmutador del suscriptor es concentrar un gran número de líneas telefónicas de bajo tráfico en un pequeño número de líneas de alta capacidad para distribuir el tráfico eficientemente. Ahora bien, una vez que el tráfico se concentra en paquetes de alrededor de 0.5 Erlangs por circuito, su eficiencia permite el uso de conmutadores de disponibilidad completa para uso en troncales.

CONMUTADORES DE DISPONIBILIDAD COMPLETA O DE NO BLOQUEO

Es un conmutador a través del cual es posible conectar cualquier salida disponible a cualquier entrada disponible, sin importar que otras tantas conexiones hayan sido realizadas. Dado que un conmutador debe tener enlaces para cada entrada como para cada salida, el número de enlaces se eleva al cuadrado del número de entradas. Esto en conmutadores grandes se vuelve prohibitivo.

En 1953 C. Closs de los laboratorios Bell publicó un análisis de conmutadores de tres estados, mostrando la relación entre la configuración del conmutador central y los enlaces. El demostró que para no bloquearse, es necesario que cada etapa sea no bloqueable y que el número de puntos de intersección sea:

Número de intersecciones = $2n - 1$

donde $n = \frac{\text{Número de entradas}}{\text{Núm. de salidas por grupo}}$

La trayectoria de una llamada puede enrutarse desde cualquier grupo de entradas a cualquier grupo central por un enlace y desde cualquier grupo central a cualquier grupo de salidas por otro enlace. Entonces hay K trayectorias a través del conmutador desde cualquier entrada a cualquier salida.

El número total de intersecciones para el conmutador de la figura II.1.1.6 es:

$$T = 2NK + K \left[\frac{n}{m} \right]$$

donde: N = Número de entradas/salidas

n = Tamaño de cada grupo de entradas/salidas

K = Número de arreglos centrales

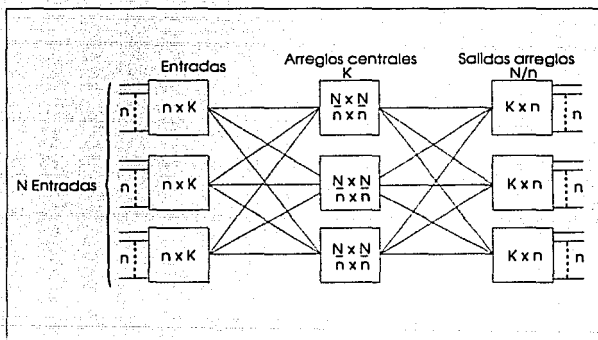


Figura II.1.1.6.-Conmutador de tres estados tiene K grupos de n entradas y el mismo número de salidas.

El número de arreglos centrales en un conmutador se puede determinar imaginando un conmutador que tiene todos los circuitos ocupados a excepción de una entrada y una salida. Así, el peor caso es en el cual un grupo de entradas que tenga $n - 1$ salidas activas, intente conectarse a un grupo de salidas que asimismo tiene solo una salida libre, pero que accesa de un grupo distinto de interruptores centrales. De esta forma para que el

conmutador tenga disponibilidad completa, debe ser aún capaz de conmutar la trayectoria entre la entrada y la salida deseada, de modo que, por lo menos, siempre exista una trayectoria libre. El número mínimo de puntos de cruce es:

$$(n-1) + (n-1) + 1 = 2(n-1)$$

Ver Figura II.1.1.7

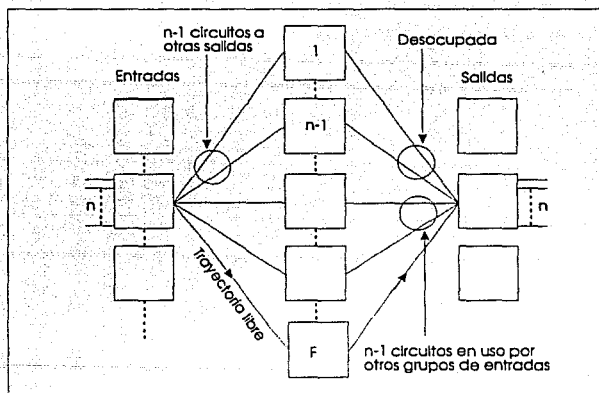


Figura II.1.1.7.-Conmutador con n entradas que tiene $n-1$ circuitos ocupados. A la salida también hay $n-1$ circuitos ocupados; para evitar el bloqueo siempre debe existir una trayectoria disponible.

II.1.1.2.-TRANSMISION Y TRONCALIZACION

El tráfico telefónico puede ser enviado por medio de uno, dos, cuatro o seis circuitos. Cada uno de estos circuitos tiene su lugar y vale la pena considerarlo separadamente.

Los circuitos de un hilo tienen una tierra física como retorno del sistema (la tierra provee la segunda línea del par). Los primeros enlaces telefónicos eran principalmente de un hilo o SWER (Single Wire Earth Return), ya que su costo es menor. La desventaja de ellos es que eran muchos y el rendimiento de cada enlace variaba debido a la resistividad del suelo, la baja inmunidad al ruido y los posibles riesgos en áreas con un alta probabilidad de tormentas eléctricas. A pesar de ello en algunas áreas rurales aún existen circuitos de un hilo.

Las líneas de dos hilos son una mejora a las líneas de un solo hilo ya que al usar un segundo hilo como tierra, eliminan muchos de los problemas de las líneas SWER. Ahora bien, cuando se consideran rutas largas, los sistemas de dos hilos presentan limitaciones al utilizar amplificadores. Algunos amplificadores conocidos como Repetidores de Impedancias Negativa o (NIR) por sus siglas en inglés, fueron desarrollados para amplificar las señales en rutas largas con sistemas de dos hilos. Un teléfono convencional es un ejemplo de un sistema de dos hilos, este se conecta al conmutador local el cual se enlaza a un segundo conmutador por medio de un NIR. El NIR le da una ganancia a la señal para compensar las pérdidas de línea entre los conmutadores. La operación de un NIR permite teóricamente proveer la máxima ganancia posible en una ruta (0 dB de extremo a extremo). En la práctica, las ganancias de -6 dB son más comunes.

En rutas muy largas se hace necesario darle a la señal un considerable nivel de ganancia para compensar las pérdidas del sistema. La única manera práctica de lograrlo es transmitir con cuatro hilos (esto es, separar las trayectorias de transmisión y recepción y amplificarlas por separado). Las centrales de alto nivel (de troncales) tienen usualmente conmutadores de cuatro hilos, como el mostrado en la figura II.1.1.8. Con la conmutación en cuatro hilos, la transmisión sin pérdidas puede llevarse a la práctica sin problemas, teniendo en cuenta las limitaciones de ganancia debidas a ruido y a fugas en la parte de hibridación.

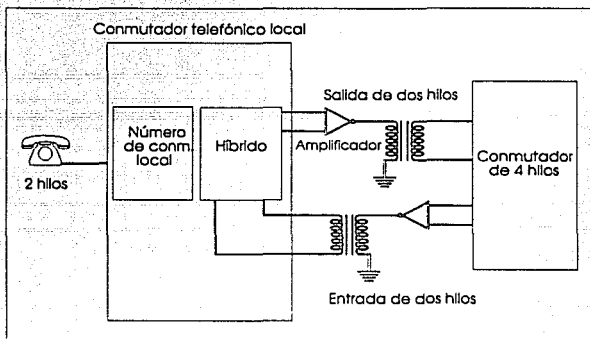


Figura II.1.1.8.-La transmisión por 4 hilos permite amplificación independiente tanto en Transmisión como en recepción

La conmutación en seis hilos se puede entender como la de 4 hilos con 2 hilos extras para propósitos de señalización. Los dos hilos de señalización se conocen como M y E los cuales llevan la señal saliente y entrante respectivamente.

II.1.1.3.-JERARQUIA DE CONMUTACION

Una central telefónica consiste de un conmutador el cual sirve normalmente de 50 a 50 000 abonados. Dichos suscriptores normalmente tienen acceso mundial por marcación directa, esto significa que las llamadas tienen una muy amplia dispersión. Si se considera una población que para fines de ejemplo, tenga 3 suscriptores y que se encuentre relativamente aislada, un gran porcentaje del tráfico puede enviarse por medio de rutas entre centrales, de modo que se justifica el uso de troncales directas entre dichos

conmutadores. Cuando se considera tráfico saliente (por ejemplo a otro poblado distante 200 km), el tráfico no será muy denso de modo, que la instalación de tres rutas separadas no es muy buena solución en términos de economía.

En este caso, un conmutador jerarquizado, llamado también troncal, puede utilizarse de manera eficiente para concentrar los tres flujos de tráfico en uno solo. Todas las rutas de tráfico de cualquier conmutador en dicho pueblo son demasiado pequeñas como para justificar que un circuito directo pueda ser "switcheado" a través de un conmutador troncal. En la práctica, el conmutador troncal puede ser físicamente uno de los tres conmutadores para abonados, pero la parte troncal de este funciona como el conmutador troncal de la figura II.1.1.9

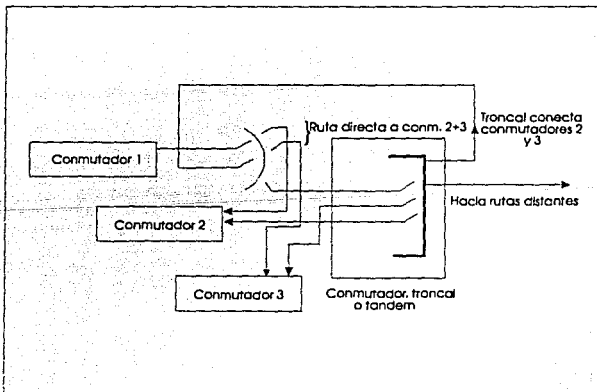


Figura II.1.1.9.-Configuración de conmutador de troncal simple.

Este principio también se aplica a larga distancia; algunos conmutadores recojen todos el tráfico internacional y los dispersa a puntos distantes. En el extremo lejano, las llamadas se envían a su destino a través de troncales cada vez de menor capacidad, hasta que finalmente entran al conmutador local.

Los conmutadores digitales no utilizan una estructura rígida y jerarquizada, más bien reconfiguran sus rutas para utilizar la que tenga la mejor disponibilidad. Entonces, el conmutador local puede ser terminal y troncal y además puede manejar tráfico como Tandem. Los conmutadores que pueden realizar dicha función se denominan Nodos.

SEÑALIZACION DE TRONCALES.-La forma más común de señalización de troncales es la señalización por canal común, aunque todavía se usa la señalización por canal de voz. En la señalización por canal común, para la comunicación entre conmutadores, se utiliza un circuito distinto al usado para voz. La señalización por canal común permite que la conmutación se efectúe a muy altas velocidades y significa que no se reservan canales de voz para señalización. El enlace de 32 canales a 2 Mbit reserva 2 de sus canales exclusivamente para señalización.

II.1.2.-ESTACION RADIOBASE

Las estaciones radiobase o BS (Base Station) permiten la conexión o interfase entre la Central Celular y el teléfono celular. Las radiobases tienen un canal de control, o de señalización, para dicho fin. En algunos casos el canal de control podría usarse como canal de voz, siempre y cuando no maneja la señalización; tal es el caso de los sistemas NTM (que usa un canal de voz como canal de control) y algunos sistemas AMPS/TACS que utilizan un canal de voz como canal de control redundante, en caso de que el canal de control en uso falle. A pesar de que por los canales de voz se envía algo de la señalización, esta se encuentra contenida en tonos fuera de la banda audible. Los canales de control por lo general envían instrucciones en un formato digital ya que es más rápido que el uso de tonos analógicos y presenta mayor inmunidad al ruido. En las situaciones siguientes se utiliza el sistema AMPS para describir llamadas originadas y terminadas por un móvil y casos de handoff.

II.1.2.1.-LLAMADA A UNA ESTACION MOVIL

Para llamar a un móvil es necesario enviar un tono de *page* o de llamado a todas las radiobases para localizar en que radiobase se encuentra el móvil, un tono de respuesta del móvil a la radiobase, un tono de llamada al móvil y finalmente la conexión al circuito de voz. Este proceso se describe a continuación.

Primero supongamos que un abonado al servicio telefónico convencional marca el número de un abonado celular. La red pública o PSTN (Public Switching Telephone Network)² envía el número al conmutador celular para su verificación y el envío al móvil. La central celular o MSC (Mobile Switching Services Center) envía un tono de llamada en progreso al móvil, todos los teléfonos móviles reciben la llamada de PAGE y solo el móvil que tenga ese número responderá

² En México se le llama RPT o Red Pública de Telefonía

enviando una identificación a la radiobase en la que se encuentre. A continuación la Radiobase selecciona un canal de voz libre, lo enciende y transmite su tono de SAT ó Tono Supervisor de Audio. Después el móvil se sintoniza al canal apropiado y se le dice que tono de SAT debe esperar. Cuando el móvil se cambia al canal de voz, este automáticamente hace un LOOP del tono de SAT, el cual informa a la radiobase que la conexión se ha completado. Un tono de llamada (de 10 kHz) le dice al móvil que la llamada está en la línea.

Se genera un tono de timbrado en el móvil y se envía a la red pública por medio del conmutador celular. Cuando se levanta el auricular, el móvil envía de vuelta el tono de SAT para indicarle a la radiobase que detenga el tono de timbrado y que la llamada esta en progreso. Durante la conversación, la supervisión de la llamada prosigue mientras esta continúe para asegurar la calidad y la continuidad de la llamada. Ver figura II.1.2.1

II.1.2.2.-LLAMADA ORIGINADA POR EL MOVIL

El procedimiento para iniciar una llamada es muy parecido al de llamada a un móvil solo que esta vez el móvil llama a la radiobase. El móvil sabe si está fuera de alcance y por ello no intenta acceder al sistema si no detecta un canal de control, aún así continua buscando la presencia de un canal de control.

Periodicamente la radiobase transmite información de *Overhead* o encabezado, que entre otras cosas, define lo que el móvil debe enviar para indentificarse.

Dado que todos los móviles utilizan el mismo canal de control para solicitar una llamada, se debe considerar que dos móviles podrían intentar originar una llamada al mismo tiempo; en tal caso, un algoritmo interno asegura que el móvil realice un reintento de llamada en un instante distinto al del otro móvil.

Para originar una llamada el suscriptor móvil teclea el número deseado y oprime el botón de "SEND"; en ese momento el teléfono se sintoniza instantaneamente con el canal de voz correcto ya que cuando no atiende una llamada, constantemente busca el mejor canal de control.

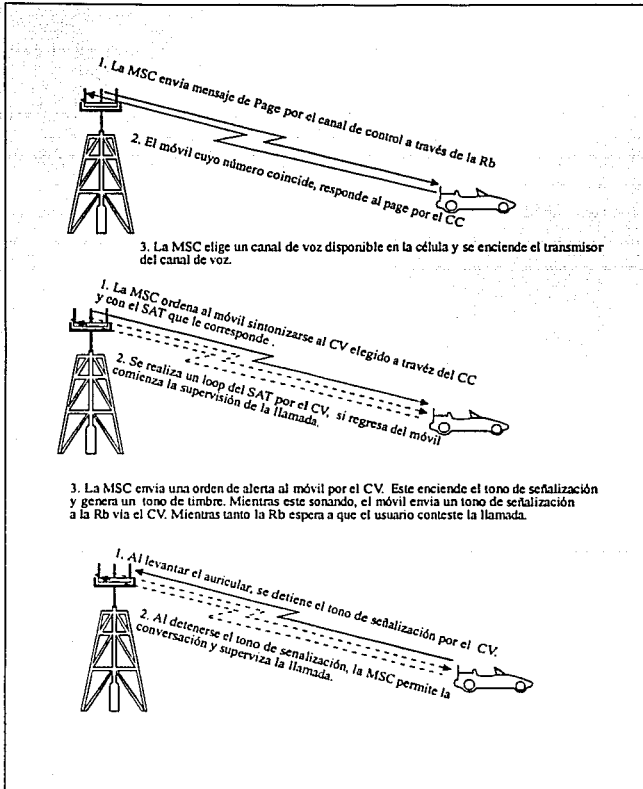


Figura II.1.2.1.-Proceso de llamada a un móvil.

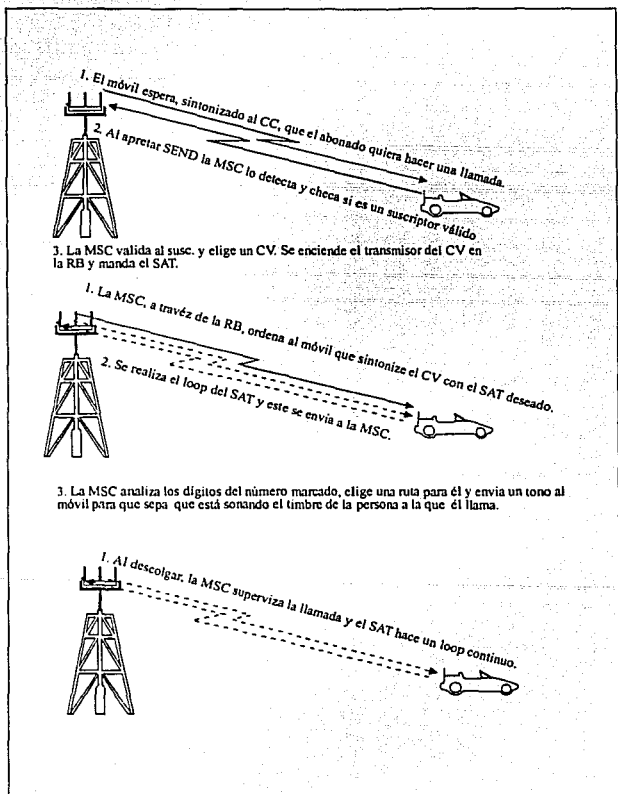


Figura II.1.2.2.-Proceso de llamada desde un móvil.

Para ello el móvil envía una identificación denominada MIN2 la cual está asociada al número telefónico del suscriptor y el número de serie del teléfono. Esta información se revisa para su validación en la central; también se envía el número marcado.

A continuación, la radiobase elige un canal de voz y envía un tono de SAT. El móvil se sintoniza a este y envía de vuelta el SAT como señal de confirmación. La llamada se enlaza y el tono de llamada de la red pública se recibe hasta que contestan; entonces la supervisión de la llamada comienza. Ver figura II.1.2.2

SUPERVISION DE LLAMADA. La supervisión de la llamada se realiza mientras esta dure. Su calidad es determinada por un radio que muestrea la señal recibida de cada uno de los canales activos. Este proceso toma cerca de 50 ms por canal. También se detecta la posible interferencia al muestrear constantemente la presencia de tonos de SAT de las radiobases vecinas y, de ser necesario, se solicita el "Handoff". (Ver figura II.1.2.3)

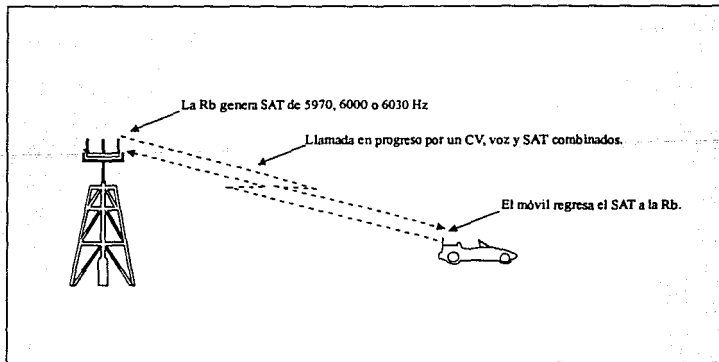


Figura II.1.2.3.-Proceso de supervisión de la llamada

II.1.2.3.-LLAMADA DE UN TELEFONO MOVIL A OTRO

El procedimiento para establecer una llamada entre móviles es muy parecido a los descritos anteriormente donde se involucraba a una central telefónica externa, solo que, en este caso, la central celular es la única encargada de completar la llamada.

La petición de llamada enviada por un móvil en una célula que llamaremos A, es enviada via un canal de acceso o de control hasta el circuito de terminación ; este circuito separa las señales de control de salida (manejadas por un controlador), de las señales de voz (manejadas por la central). El circuito terminal envía la petición de un canal al controlador, el cual examina el número de A (análisis para determinar las características del móvil que hace la llamada).

El controlador revisa lo siguiente:

-El que llama ¿Es un suscriptor local o un ROAMER (pertenece a una central en otra área geográfica ya sea ciudad o país)?

-¿Cuál es la categoría del que llama? (Restricción de llamadas internacionales, de llamadas salientes, etc.)

-¿Existe algún tipo de facilidades?

Assumiendo que la llamada es legítima, se marca como BUSY u ocupada para evitar conflictos con otras llamadas que pudieran ingresar en la conversación de A.

-La conversación de B (o número al que se llama) se analiza, por lo regular sólo los primeros tres o cuatro dígitos para determinar la tasa de cobro, la longitud del número y la ruta.

La categoría de B se analiza para determinar si la persona a la que se llama es un suscriptor válido. A continuación se verifica si la línea de B esta libre, de estarlo, se marca como ocupada. Se llama al número de B por medio de los canales de control a todas las Radiobases, ya que su posición aún no se conoce, por medio del circuito terminal.

Cuando B responde, se elige la célula más apropiada (el móvil B se encuentra monitoreando siempre el mejor canal de control). Se le asigna al móvil B un canal de voz y se le

indica que se sintonize a él. Una vez en la frecuencia del canal de voz envía la confirmación de ello por medio de los controladores.

De manera similar, se le asigna un canal de voz a A y el controlador le indica a la central que enlace los dos canales de voz.

La supervisión de la llamada comienza a través del circuito terminal hasta el controlador; se evalúa la calidad de la llamada; se determina la relación señal a ruido, la fuerza de la señal; se detecta la interferencia a través de la llamada y, de ser necesario, se realiza la petición de Handoff con las células vecinas. Al mismo tiempo, el sistema monitorea las posibles señales de corte o fin de llamada de A o de B con lo que se termina la conexión.

II.1.2.4.-HANDOFFS

Un Handoff es el proceso por el cual un móvil, al ir desplazándose, se sintoniza a varias radiobases sin que el usuario note durante la conversación, dichos cambios.

El handoff se inicia cuando la señal, al ser monitoreada en la Radiobase por el receptor de nivel de señal, disminuye por debajo de cierta calidad. Esta calidad se puede juzgar simplemente por la fuerza de la señal o también puede involucrar mediciones de relación S/N.

En la Radiobase de cualquier sistema, existe un receptor cuya única función es buscar a todos los móviles dentro de su área de cobertura y monitorear la señal de cada uno.

El tiempo de búsqueda usualmente es de 50 ms por canal. El receptor o SRM puede ser un transreceptor normal o un monitor dedicado. Una unidad dedicada es más barata que un transreceptor ya que no cuenta con una unidad de transmisión pero también requiere piezas de repuesto especiales.

Cuando un móvil se juzga que esta por debajo de cierto nivel (definido por un parámetro especial), el controlador en la Radiobase solicita al conmutador un intento de Handoff.

El conmutador busca en una tabla los sitios adyacentes o vecinos al sitio que solicita el Handoff. El conmutador pregunta entonces a cada uno de ellos que busquen la frecuencia de

transmisión del móvil y que reporten la fuerza de la señal (o la S/N) que reciben. Los parámetros obtenidos se comparan con aquellos que reportó la Radiobase; si son mejores (por lo regular en 3dB), entonces se inicia el Handoff a un canal libre de la mejor candidata.

El móvil tiene un periodo de tiempo (50 ms aprox.) para reportarse en el nuevo canal. El SRM primero detecta una trayectoria de señal por debajo del promedio y entonces solicita el handoff al conmutador. Como el conmutador busca en su tabla a todas las vecinas a la célula que solicita el Handoff, solo se definen las vecinas más proximas en esa tabla para no consumir demasiado tiempo de procesador. Ver figuras II.1.2.4 y II.1.2.5

II.1.2.5.-FORMATO DE SEÑALIZACION AMPS

La señalización en el espacio libre se consigue enviando códigos binarios en flujos de bits llamados palabras. Una palabra enviada al móvil consiste de 28 bits; una palabra enviada por el móvil contiene 36 bits a los cuales se agregan 12 bits más para el código de detección de errores; por lo que se tienen palabras de 40 y 48 bits respectivamente. Por seguridad cada palabra se repite cierto número de veces.

Una palabra comienza con puntos, un término usado para describir la señal enviada para sincronizar a los móviles. La puntuación se forma con los dígitos 1010..10. Estos van seguidos por una palabra de sincronía codificada como 11100010010, y después por dos palabras. Un móvil puede solicitar la conexión de un número dado enviando la información mostrada en la figura II.1.2.6

El mensaje es precedido por los puntos y la palabra de sincronización, después el mensaje es repetido cinco veces. Se toma un número de 16 dígitos.

Un mensaje de la Radiobase hacia el móvil tiene la misma estructura. La forma de un mensaje en general tiene la forma siguiente (ver fig. II.1.2.7); la palabra se repite cinco veces para asegurar la correcta transferencia de información que de otra forma podría perderse en un medio congestionado de mensajes.

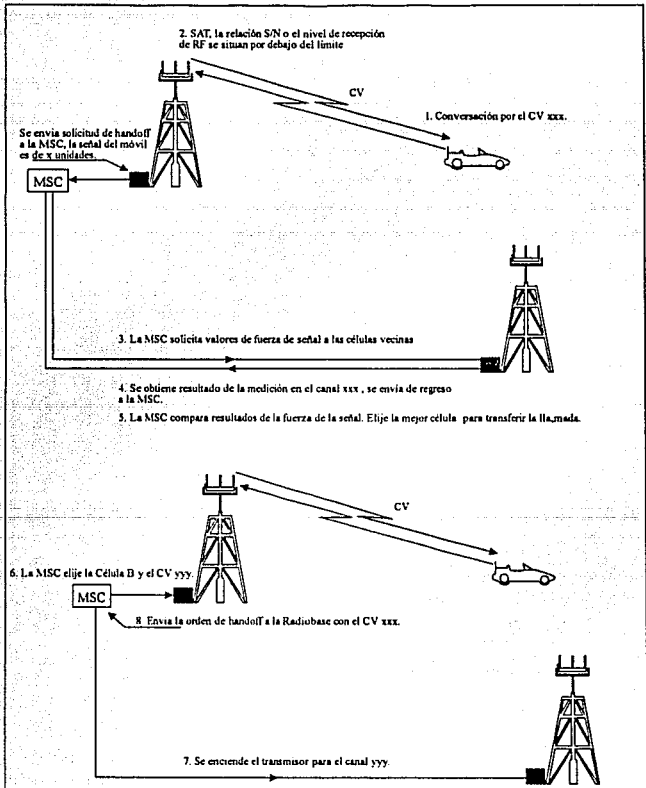


Figura 11.1.2.4.-Handoff.

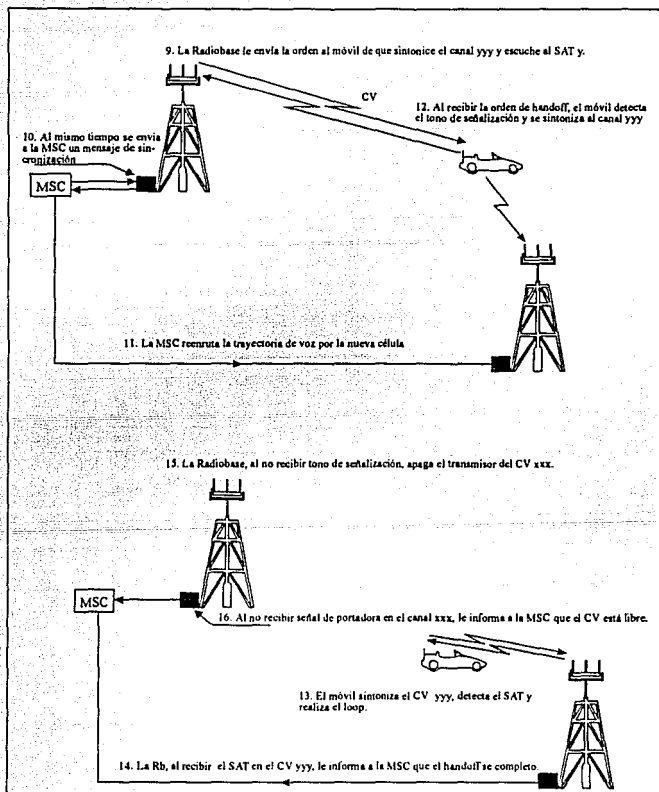


Figura IL1.2.5.-Finalización del Handoff.

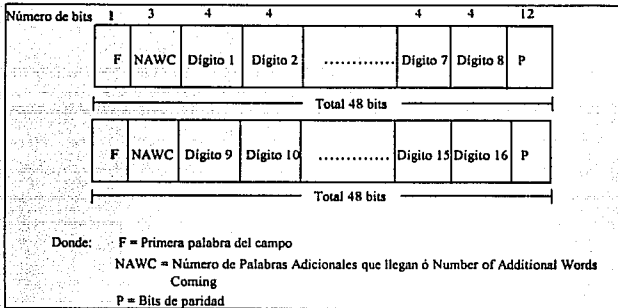


Figura II.1.2.6.-Formato del mensaje que origina un móvil.

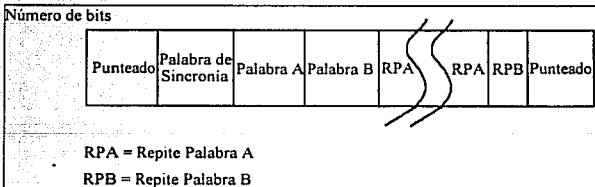


Figura II.1.2.7.-Forma general de un mensaje hacia el móvil.

En la figura II.1.2.8 se muestra una palabra típica enviada por una radiobase para el caso de la asignación de un canal de voz.

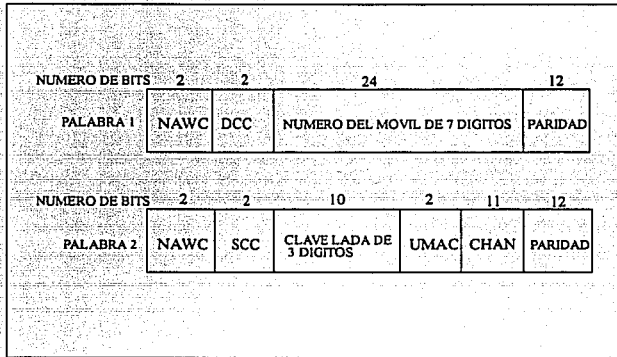


Figura IL1.2.8.-Mensaje típico hacia el móvil enviado por el Canal de Control.

IL1.2.6.-PARAMETROS RELACIONADOS CON LA INTENSIDAD DE LA SEÑAL

Existen un cierto número de parámetros del sistema definidos por el usuario que determinan el desenvolvimiento de una Radiobase. La tabla siguiente muestra algunos de los parámetros más importantes del sistema y sus valores típicos.

INTENSIDAD DE LA SEÑAL	PARAMETRO
- 72 dBm	SSD = Decremento de potencia en el móvil
- 82 dBm	SSI = Incremento de potencia en el móvil
- 95 dBm	SSH= Nivel para solicitud de Handoff
- 110 dBm	SSB= Nivel de bloqueo de canal

Tabla IL1.2.1.-Parámetros del sistema y sus valores promedio

Otros parámetros son el SSHY que fija la histéresis para un intento de Handoff (por lo regular se toman 3dB, lo cual significa que la Radiobase candidata para recibir el Handoff debe recibir la señal del móvil 3 dB mejor antes de que el handoff se realice), y el SUH , el cual determina el tiempo de supervisión para una llamada antes de que el Handoff se declare como no exitoso.

Muchos sistemas también miden la relación S/N; para ello usan el SNH que es el nivel de la relación señal a ruido con el que se solicita el Handoff (usualmente es de 25- 30 dB) y el SNR que es el nivel de S/N por debajo del cual la llamada se interrumpe (por lo general es de 12-15 dB).

Descripción de las partes que componen una Radiobase:

- Controlador de Radio o CT (Channel Tester).
- Transreceptores.
- Combinadores y divisores de potencia.
- Líneas de conducción entre antenas y equipo de radio (Feeders).
- Antenas.
- Equipos de aire acondicionado.
- Rectificadores y Baterías.

Ver figura II.1.2.9

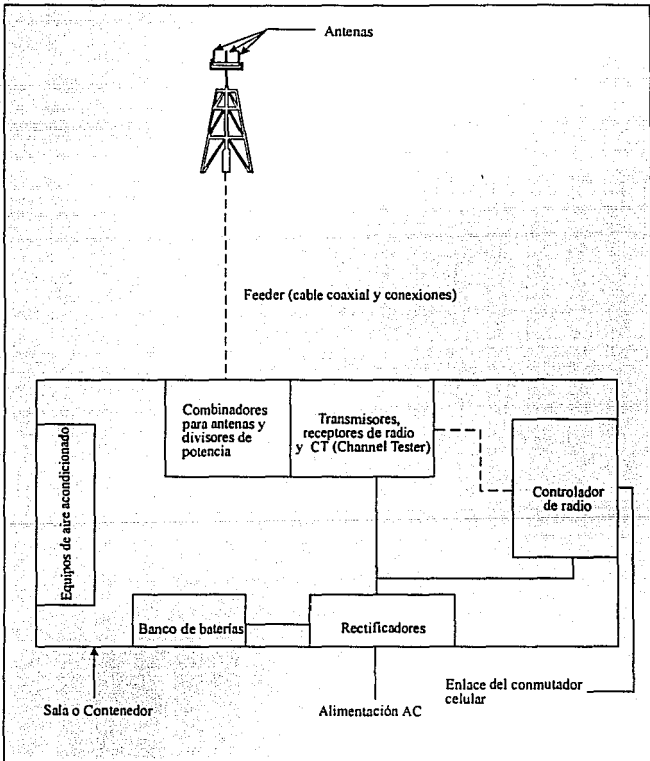


Figura IL.1.2.9.-Diagrama de una radiobase típica

II.1.3.-ESTACIONES MOVILES

El equipo que maneja el suscriptor celular se denomina Estación Móvil o MS. Dicho equipo es un transceptor capaz de ajustar su potencia de transmisión, sintonizarse a las frecuencias de transmisión o recepción dentro de la banda reservada a telefonía celular y además responde a las señales de control que le son enviadas desde la Radiobase ya sea por medio del canal de control o también las que se envían en los canales de voz (como parte del mensaje).

Las MS pueden dividirse en los siguientes tipos:

- Portátiles o de mano. Son de poco peso y tamaño, utilizan baterías que pueden durar hasta hora y media de conversación continua, no requieren equipo asociado. Pueden convertirse en teléfonos móviles adaptándose al encendedor del auto; con equipo opcional se pueden tener conversaciones a manos libres; también es posible conectarles una antena exterior para mejorar la calidad de la llamada en zonas con débil cobertura; también se les puede adaptar un amplificador o Booster para aumentar la potencia de transmisión hasta 3 [W] e inclusive existen adaptadores para equipos de FAX y/o computadoras portátiles.
- Transportables. Son del tamaño de un maletín, se llevan en el hombro; poseen una batería externa de mayor tamaño para permitir un mayor tiempo de conversación.
- Móviles. Son los equipos instalados permanentemente en vehículos; se alimentan con la batería del auto y manejan potencias de 3W.
- Fijos. Su uso es exclusivamente residencial por lo que es necesario conectarlos a la línea de 110 V para que puedan operar. Por lo general se utilizan en áreas donde no existe la red de telefonía convencional pero que tienen cobertura celular. Se pueden usar también como teléfonos públicos en áreas rurales, en trenes, barcos, etc. para lo cual la tarificación se envía a través del canal de voz.

Ver figura II.1.2.10

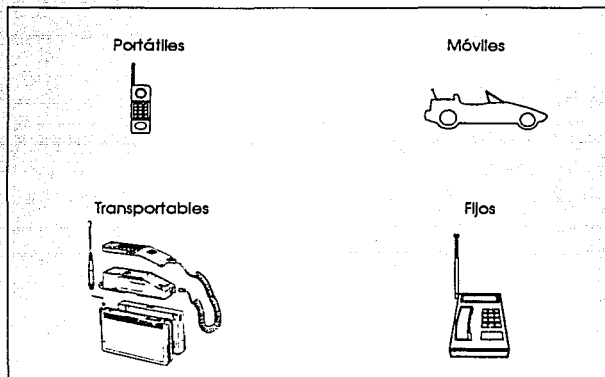


Figura II.1.2.10.-Tipos de estaciones móviles

La potencia de transmisión de una MS es relativamente baja ya que la radio base es capaz de detectar señales débiles por medio un sistema de diversidad. Dicha potencia puede variar desde 0.56 W como máximo, para el caso de teléfonos portátiles, hasta 3 W en el caso de teléfonos móviles. Al encender el teléfono este envía una marca de clase para informar a la RADIOBASE su potencia máxima de salida. Esta a su vez le informa a la MS a que potencia debe ajustarse dependiendo del tamaño de la célula y de los reusos cercanos.

Durante la conversación, la potencia de salida cambia dependiendo de que tan cerca o que tan lejos se encuentre el móvil; para ello la MS puede atenuar hasta en siete pasos la potencia máxima de salida. Ver tabla II.1.2.2.

Paso	Nivel de atenuación
0	Sin atenuación
1	4 dB
2	8 dB
3	12 dB
4	16 dB
5	20 dB
6	24 dB
7	28 dB

Tabla II.1.2.2.-Pasos de atenuación utilizados por la MS

La MS consta de las siguientes unidades:

-Unidad de operación. Esta controlada por un microprocesador y permite la implementación de funciones especiales a las cuales tiene acceso el usuario. Se encuentra incorporada en el auricular, contiene un teclado y una pantalla para interactuar con el usuario.

-Unidad de control. Trabaja con un segundo microprocesador y se encarga de realizar las siguientes funciones:

1. Señalización de datos
2. Control de la unidad de radio para elegir un canal, comenzar a transmitir, realizar el loop para el SAT, etc.
3. Comunicarse con la unidad de operación por ejemplo, para remarcar el último número en memoria

-Unidad de radio. Se encuentra formada por un transmisor, un receptor y un amplificador parecidos a los que están en la Radiobase.

-Filtro Duplex. Permite la transmisión y recepción simultaneos a través de la misma antena.

Ver figura II.1.2.11

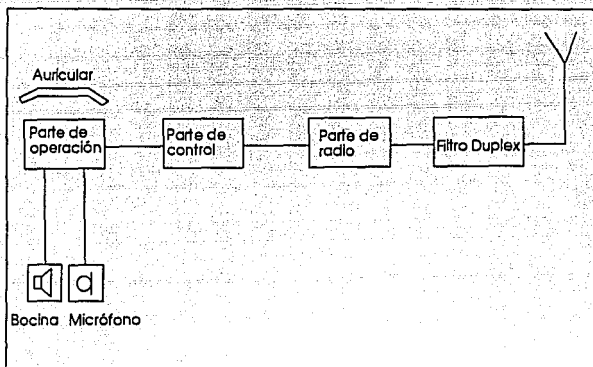


Figura II.1.2.11.-Unidades funcionales de la estación móvil

Para sintonizarse con el mejor canal de control la MS se sintoniza con el primer canal de control, mientras el receptor mide la calidad de la recepción, de no ser buena la búsqueda continua en el siguiente CC hasta que termina con los 21 canales de control. Si ninguna es buena la MS despliega en la pantalla que no existe servicio celular en el área.

Antes de poder utilizar el servicio celular por primera vez, un teléfono celular debe ser programado con la siguiente información:

- El MSNB o número de identificación de la MS que consta de dos partes, la primera con los 3 dígitos más significativos y la otra con 7 dígitos menos significativos.
- El número de serie que ya viene dado de fábrica y por ello no puede alterarse.

- El tipo de sistema A ó B , en el que va a operar.
- La marca de clase que indica la potencia máxima de transmisión y el tipo de MS. También indica si la MS puede sintonizarse en los canales de Banda Extendida; de ser así, la central elegirá primeramente alguno de los canales de dicha banda
- La localización de los canales de control indicando, en frecuencia, donde se encuentra el primero de ellos.
- La categoría de la MS para que, en caso de congestión, permita o no su acceso al sistema.

La MS contiene una memoria dinámica que puede ser cambiada por el programa del microprocesador. En base al contenido de la memoria, se realizan las acciones de la MS, por ejemplo:

- Enviar el número de serie.
- Enviar los últimos siete dígitos del MSNB.
- Realizar registros periódicos.
- La identificación del sistema y, en los sistemas que manejan áreas de registro, la identificación del área.
- Utilizar una potencia inicial fija durante el acceso etc.

II.2.-ELEMENTOS ADICIONALES EMPLEADOS EN EL SISTEMA

II.2.1.-MICROCELULAS

El concepto de microcélula se aplica principalmente como una forma de controlar la interferencia. La habilidad para controlar y reducir la interferencia en un sistema celular implica que también se puede incrementar la capacidad del sistema. La cantidad de interferencia cocanal que puede controlarse, se relaciona directamente con la relación de D/R donde D es la distancia entre dos células que reusan las mismas frecuencias y R es el radio de la célula. ver ecuación (1).

$$q = (D / R) \dots\dots\dots(1)$$

si para el sistema AMPS q es igual a 4.6(basado en una relación C/I de 18 dB)

$$K = \frac{q^2}{3} = 7 \dots\dots\dots(2)$$

Para aumentar la capacidad del sistema se buscan formas de reducir el tamaño de D, esto es formando una nueva configuración, pero manteniendo a R sin cambios. El factor de reducción de interferencia cocanal o CIRF por sus siglas en inglés se denota q , es función de K que es el número de células en un patrón celular con frecuencias de reuso. Para medir la capacidad de radio, se obtiene el número de canales por célula.

Al reducir el factor de reducción celular se puede aumentar la capacidad de radio m como se muestra en la eq.(3).

$$m = \frac{\text{número total de canales de voz}}{K} \dots\dots\dots(3)$$

En los sistemas más simples, la forma de reducir el factor K en un sistema análogo es por medio de la sectorización. Cuando la interferencia cocanal en un sistema aumenta, se deben usar configuraciones ya sea de 3 ó 6 células por sector para evitar el tener que expandir la distancia D .

En otras palabras, con una interferencia alta, la sectorización tiende a reducir el valor de D . Por otro lado cuando se sigue la filosofía de la sectorización, la forma de asignar un conjunto de frecuencias (o también llamado grupo de frecuencias) a cada sector es la misma que la usada para una célula. El Handoff ocurre tan pronto el portátil pasa entre las células.

En el caso de una microcélula no solo se reduce el radio de la célula sino que también lo hace el CIRF. Además no existe degradación en la eficiencia de la troncal.

En general la microcélula consiste de tres zonas (ver figura II.2.1.1). Se pueden agregar más células en caso de ser necesario. Cada zona tiene su propio zone site ; en una de las tres zone sites usualmente se coloca la base site o estación base (en algunos equipos se le denomina nodo de control). Todos los transmisores/receptores de radio utilizados en la microcélula se instalan ya sea en la estación base o en el sitio que desea cubrir.

Para darle servicio a un móvil desde una zone site , la señal celular de 800 MHz debe transformarse en una señal óptica o de microondas en la estación base y después regresar a una señal de 800 MHz en la zone site, de manera parecida se procesa la señal recibida por el móvil; para ello es necesario en la zone site un convertidor de subida/bajada, un amplificador de potencia y un preamplificador de bajo ruido de banda hancha. Otra opción es realizar un enlace directo entre la Microcélula y el Conmutador Celular vía fibra óptica o microondas de tal forma que los equipos transmisor(antenas, transreceptores, etc.) y de control puedan ubicarse lo más cerca posible entre sí; para ello el equipo utilizado en la microcélula se puede alojar en el contenedor de una BS común. En ambos casos el móvil no se da cuenta de estos cambios de medio de transmisión.

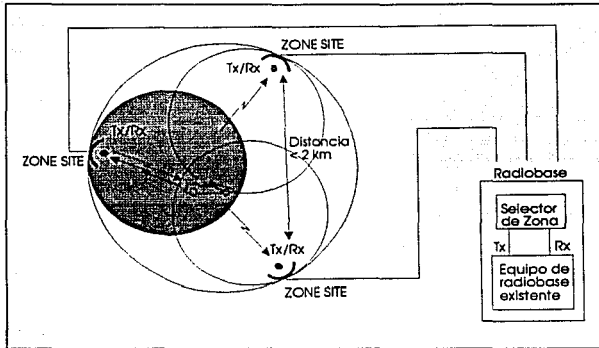


Figura II.2.1.1.-Concepto de microcélula.

En la descripción del diseño de una microcélula se tienen dos casos:

Señal que proviene de un móvil. Al internarse un móvil en la zona de una microcélula, este envía una señal. Cada zone site recibe la señal y la pasa por su convertidor de subida/bajada, convirtiendo la señal y enviandola via fibra óptica o de microondas hasta la estación base ahí se pasa por el convertidor de bajada. Lo mismo sucede con las señales del móvil recibidas desde las demás zonas. Un selector de zona ubicado en la estación base se utiliza para elegir la zona que detecte la mayor fuerza de señal del móvil. Entonces la estación base habilita la comunicación celular a través del convertidor de subida.

Señal que proviene de la estación base. La zone site recibe la señal de la estación base por el convertidor de bajada y la transmite al móvil después de la amplificación. Entonces mientras que los receptores en las tres zonas de cobertura se encuentran activos, solo el transmisor de una zona en el canal indicado por la estación base se activa para comunicarse con el móvil. Cuando el móvil se mueve de una zone site a otra, la frecuencia asignada permanece sin cambio. Es el selector de zona en la estación base el que simplemente realiza el cambio al transmisor de otra

zone site en otra zona de acuerdo a la ubicación del móvil. Solo una zone site transmite, con esa frecuencia "X", para comunicarse con el móvil. Por ello el proceso de Handoff no se utiliza cuando se entra en otra zone site.

II.2.1.1.-ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD Y CALIDAD DE LA VOZ.

Para determinar el incremento de la capacidad y el mejoramiento de la calidad de voz en la microcélula mostrada en la figura II.2.1.2 se puede calcular el CIRF, con qs el cual es un elemento clave en el diseño del sistema celular. En el sistema celular convencional, qs se utiliza para determinar la calidad de voz y la capacidad dado que ambos se encuentran relacionados. En el sistema de microcélulas, se tienen dos CIRF's a considerarse. Un CIRF $_{qs_1}$ se usa para medir la calidad de voz y el otro, CIRF $_{qs_2}$ se utiliza para medir la capacidad de radio, dado que en este sistema ambos se miden de manera distinta. El sistema de microcélulas se muestra en la figura II.2.1.3

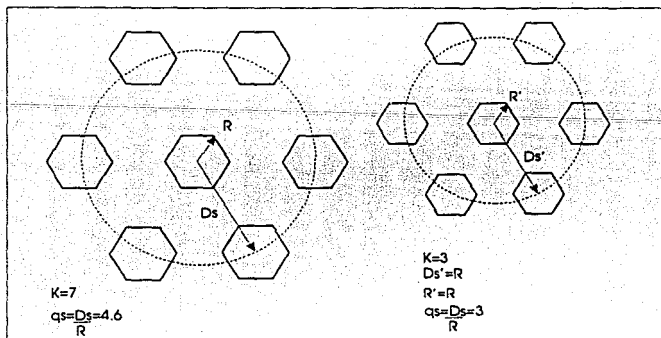


Figura II.2.1.2.-Caso de CIRF

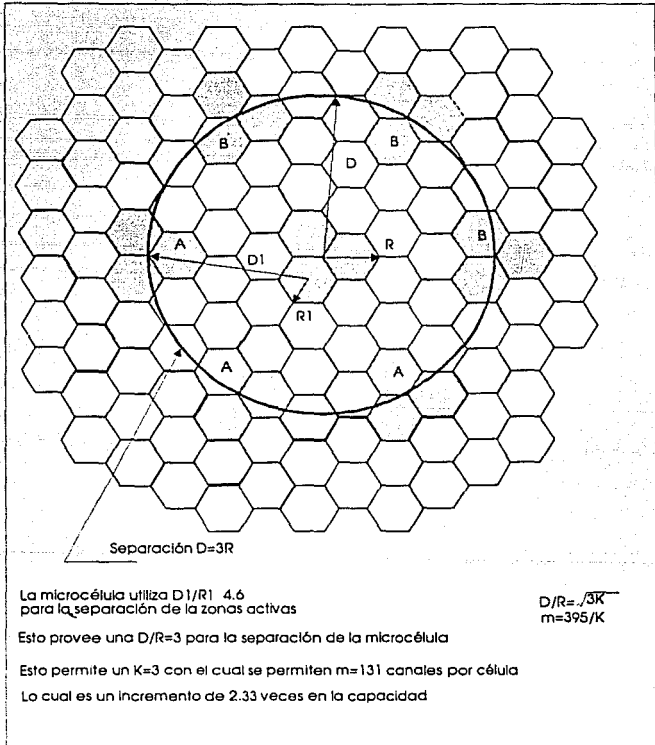


Figura IL2.1.3 -Aplicación de microcélula

Se tienen dos casos de CIRF:

1. CIRF entre dos bases transmitiendo en zonas contiguas.-Este es un nuevo CIRF qs_1 se define como $qs_1 = D_j/R_j$ donde D_j es la distancia entre una zona activa en una microcélula y la correspondiente zona activa en otra microcélula como se muestra en la figura II.2.1.3. R_j es el radio de cada zona. Aunque la antena se monta en el extremo de cada zona, el área real de cobertura de cada una de ellas se usa para estimar la interferencia. Entonces el radio R de un área de cobertura real es el área de la zone site. Existen muchos valores de qs_1 dependiendo de cual de las dos zonas activas con interferencia cocanal se consideren. Entre ellos dos zonas activas muy cercanas y con problemas de cocanal son el peor caso en el que se quisiera medir el CIRF qs_1 .

Como sabemos, en el sistema AMPS, la relación C/I debe ser mínimo de 18 dB. Esto implica que qs debe ser de 4.6 para mantener una calidad de voz aceptable cuando se utilizan transmisores de 30 kHz de FM analógicos. En el sistema AMPS, la primera simulación mostró que $qs_1 = 4.6$ era adecuado para células del tipo omnidireccional. Ahora bien, cuando se tienen alturas de antena de 33 a 50 [m] y el suelo no es plano, la interferencia cocanal recibida en reversa (móvil a base) es más alta de la esperada. Es entonces que se introduce la técnica de la sectorización en los sistemas celulares en uso. En el sistema de microcélulas, la altura en la antena nunca es mayor de 33 [m], normalmente entre 13 y 17 [m], y el suelo en un área muy limitada alrededor de la antena generalmente es plano. Bajo esta condición la interferencia cocanal de reversa se reduce, y la sectorización se hace innecesaria para un sistema con configuración $K=7$.

Dado que se usa el mismo tipo de radios en la microcélula, qs_1 debe ser al menos de 4.6 para poder usarse en la configuración $K=7$. En la figura II.2.1.3 se muestra como qs_1 toma el valor de 4.6 en dos zonas con reuso de frecuencia cercano. En una microcélula, normalmente el valor de qs_1 entre dos zonas activas de distinta microcélula es siempre mayor o igual a 4.6. Se ha demostrado que la calidad de voz en las microcélulas basadas en un $qs_1 \geq 4.6$ es igual o mejor que la obtenida en un sistema AMPS.

2. CIRF entre dos microcélulas reusando las mismas frecuencias.-La capacidad de radio se basa en la separación de dos células con frecuencias comunes. En el sistema de microcélulas el CIRF q_{s_2} se define como $q_{s_2} = D/R$ donde D es la distancia entre las células con reuso y R es el radio de la microcélula mostrado en la figura II.2.1.3. En este caso $q_{s_2} = 3$, es equivalente a $K=3$. Las tres zonas por microcélula y el factor $K=3$ se muestran en la figura II.2.1.4. El patrón horizontal de la antena para cada zona de cobertura es de 160° como se indica en la misma figura. Dado que K se reduce de 7 en el sistema AMPS a 3, el sistema de microcélulas se incrementa en $7/3=2.33$ veces como se muestra en la ecuación (3). Entonces q_{s_2} se utiliza para medir la capacidad. La asignación de frecuencias en un sistema $K=3$ se muestra en la fig. II.2.1.4. Los 395 canales en total pueden dividirse en tres grupos. El primer grupo se forma con los canales 1, 4, 7, 10, etc. En el segundo grupo se tienen los canales 2, 3, 8, 11, etc. y en el tercer grupo están los canales 3, 6, 9, 12, etc. Cada grupo se asigna a cada célula de acuerdo al número de célula mostrado en la figura II.2.1.4.

II.2.1.2.-HANDOFFS

La definición de handoff, como ya se había dicho, es realizar el cambio de una frecuencia a otra mientras el vehículo se interna en una nueva célula o en un nuevo sector. Dentro de cada microcélula no son necesarios los handoffs al ir de una zona a otra; el cambio de zona a zona se maneja mediante un selector de zona. La zona activa sigue al móvil mientras este se dirige de una zona a otra. La frecuencia asignada al móvil no cambia.

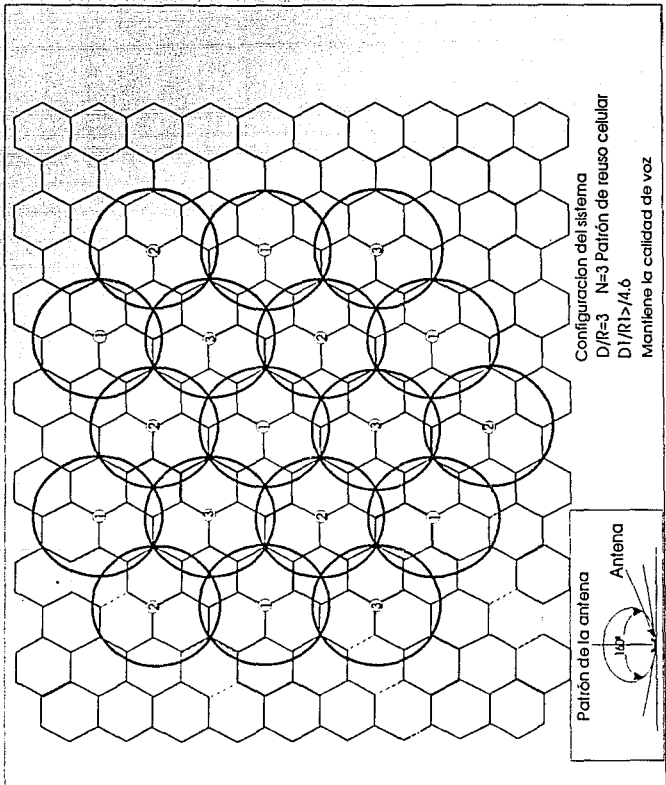


Figura IL2.1.4.-Sistema de microcélulas con patrón $K=3$

En un sitio regular hay tres sectores. El móvil se dirige a una de tres direcciones, como se muestra en la figura II.2.1.5. Cuando el móvil entra, o sale, de una célula se realiza un handoff. En una microcélula el móvil al cambiar de una zona a alguna de las otras dos no realiza el handoff. Este solo ocurre cuando el móvil sale de las tres zonas; como la forma de la zona se basa en el patrón hexagonal esta tiene la misma forma. En la simetría de su diagonal se observa que del lado izquierdo no son necesarios los handoffs mientras que del lado derecho si lo son. Entonces, se puede estimar que solo la mitad de los handoffs requeridos en una configuración celular normal son necesarios en una configuración del tipo microcélula. Dicha reducción en los handoffs contribuye enormemente en la capacidad del sistema.

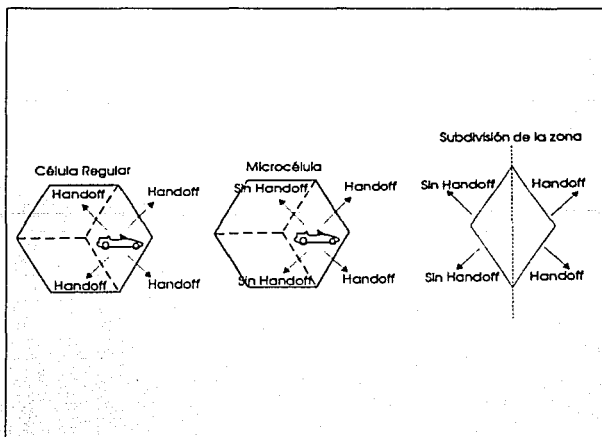


Figura II.2.1.5.-Reducción de Handoffs en el sistema con microcélulas.

II.2.1.3.-CAPACIDAD DEL SISTEMA.

En cualquier sistema celular, la capacidad del sistema es la capacidad en conjunto de cada sistema y puede variar de un sistema a otro. La capacidad del sistema puede ser determinada por tres elementos : la capacidad de radio, capacidad de control del enlace y la capacidad de conmutación, como se muestra en la figura II.2.1.6.

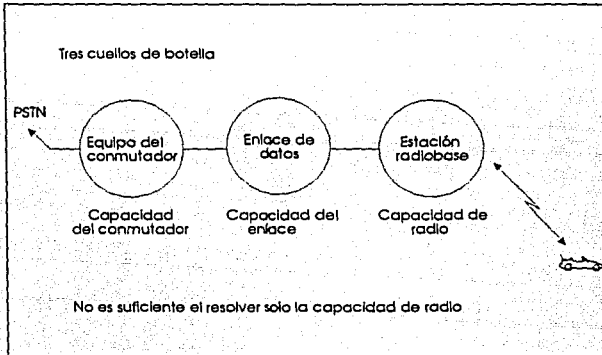


Figura II.2.1.6.-Sistema celular

1. Capacidad de radio.
2. Capacidad de enlace/capacidad de conmutación: Estos dos elementos a menudo se combinan en la medición de la capacidad del sistema. El enlace de control mide la capacidad de un enlace de control rápido entre el sitio y el conmutador. Si el número de los enlaces de microondas o portadores T1 no son suficientes, se produce un cuello de botella. La capacidad del sistema mide

la capacidad de tráfico en el conmutador. De la misma forma, si el conmutador no es lo suficientemente grande para manejar la capacidad de radio se congestiona el sistema.

Entre estos tres elementos, si alguno de ellos no es muy bueno no es posible mejorar la capacidad del sistema. Con esto en mente no se puede considerar a la capacidad de radio como todo el problema ni como la única solución.

En el diseño de un sistema de microcélulas, dado que son necesarios pocos handoffs comparados con un sistema regular, tanto la carga del conmutador como la carga en el enlace de control se recortan a la mitad, liberando el doble de la carga que se maneja con la capacidad instalada en ese momento. El incremento de dos veces (2.33 veces para ser exactos) en la capacidad de radio es exactamente lo que el sistema de microcélulas ofrece sin cambiar el equipo actual en la central.

II.2.1.4.-ATRIBUTOS DE LA MICROCELULA.

El diseño del sistema ofrece las siguientes ventajas:

- Incrementa la capacidad del sistema. Basandonos en el patrón de reuso (reducido de $K=7$ a $K=3$), este es de 2.33 la capacidad de un sistema AMPS.
- Mejora la capacidad del sistema.
- Reduce la interferencia.

Dado que las antenas en todos los zone sites están "viendose" unas a otras, la señal de interferencia debe cruzar una célula antes de interferir con la célula vecina.

Las tres zone sites reciben la señal del móvil simultaneamente de tres zonas formando una diversidad con tres ramas de distinta zona. Esto es incrementando la probabilidad de recepción del sistema en la estación base debido al esquema de diversidad

El sistema de microcélulas es el mejor arreglo para controlar la interferencia dado que las zonas activas siguen al vehículo.

- Adaptabilidad. Este sistema puede adaptarse al sistema de cualquier distribuidor sin modificar su hardware o su software.
- Tamaño del equipo en el sitio. Los convertidores de subida/bajada son pequeños. Este es un sistema de tipo PCS (Personal Communications System) por el control tan preciso que se tiene de la interferencia. Además es muy sencillo cambiar el equipo de un lugar a otro si se da el caso de que los requerimientos de cobertura cambien.

En el mercado existen varias compañías que fabrican esta tecnología como son DECIBEL, ERICSSON, PENINSULA, etc. En todas ellas el concepto es el mismo aunque el equipo cambie de nombre (ver figura II.2.1.7) y persiguen los mismos objetivos, que son:

- Tamaño reducido.
- Instalación sencilla y a bajo costo.
- Bajos costos de operación.
 - Transmisión por par trenzado o por enlace de microondas T1.
 - Voltaje de operación compatible (110 VAC).
 - No debe requerir de un local específico o control del ambiente.
- Móvil típica de 3 a 4 canales de voz.(aunque en ciertas marcas se pueden manejar hasta 20 canales de voz).

Las aplicaciones dependen de las prioridades de mercado como son:

- Áreas públicas en interiores como centros de convenciones, hoteles, aeropuertos, etc.
- Aplicaciones en interiores y exteriores al mismo tiempo.
- Áreas críticas en exteriores como carreteras con alta densidad de tráfico vehicular o calles en particular.
- Facilidad de introducir canales con tecnología digital.

II.2.1.5.- CONFIGURACION DE LA MICROCELULA.

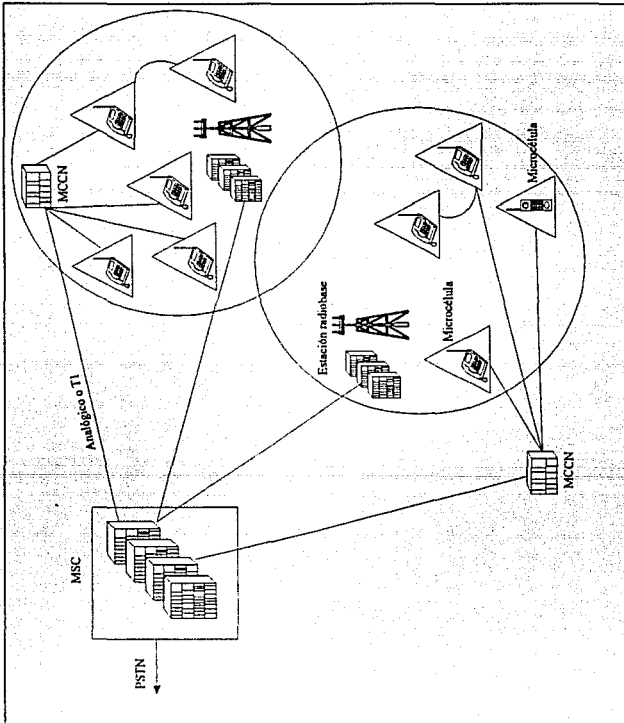


Figura II.2.1.7.-Conexión de microcélulas con el conmutador celular.

La potencia de salida de transmisión depende del área de cobertura de la microcélula, de la penetración deseada de la microcélula y de la penetración actual de la célula convencional.

Para el caso de una aplicación en interiores se deben tomar en cuenta las atenuaciones debidas tanto a las paredes del sitio (su composición), como a las debidas a la composición del piso para determinar la potencia y el tipo de antena a utilizar.

En un sistema de microcélulas tipo ERICSSON se forma de los siguientes componentes.

PSTN. Public Switching Terminal Network es la red de telefonía pública convencional.

MTSO. Siglas en inglés de Oficina de Conmutación de Telefonía Móvil ó Central Celular.

MCCN. Es el Nodo de Control de la Microcélula.

MCBS. Estación Base de la Microcélula. Ver figura II.2.1.8

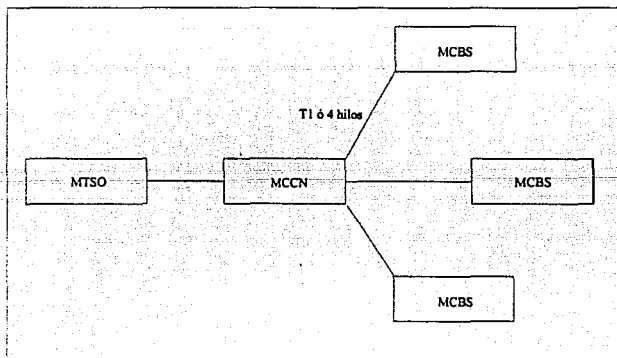


Figura II.2.1.8.-Diagrama de bloques para una microcélula.

Las características de la MCBS son las siguientes:

- Capacidad de 1 a 20 canales de voz.
- Tranceivers o Transmisores/Receptores modulares de 100 [mW] de potencia de transmisión con opción a 1 [W] para cada portadora (usando un amplificador extra).
- Utiliza el mismo tipo de canales de control que en las BS convencionales.
- No requiere sintonización el sistema de combinadores.

La figura II.2.1.9 muestra la disposición del equipo en una MCBS.

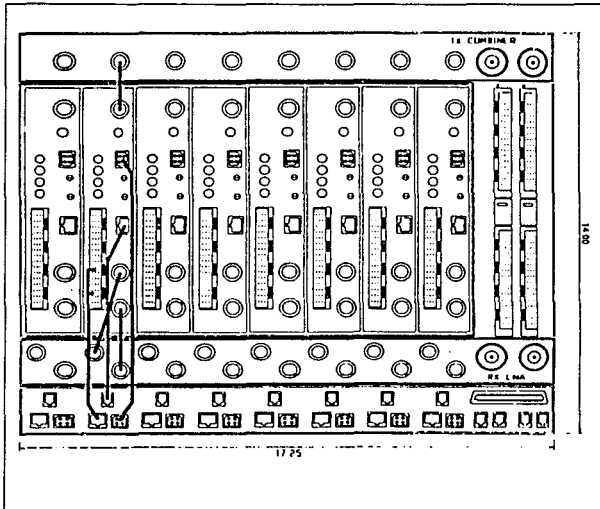


Figura II.2.1.9.-MCBS típica.

El nodo de control de la microcélula sirve como interface entre la MCBS y la central celular para comunicación de datos y voz. Soporta hasta 4 MCBS sumando, mediante un arreglo especial, hasta 96 canales de voz. Puede comunicarse con la central celular por transmisión de tipo analógico o digital. La figura II.2.1.10 muestra la disposición de los componentes en el MCCN.

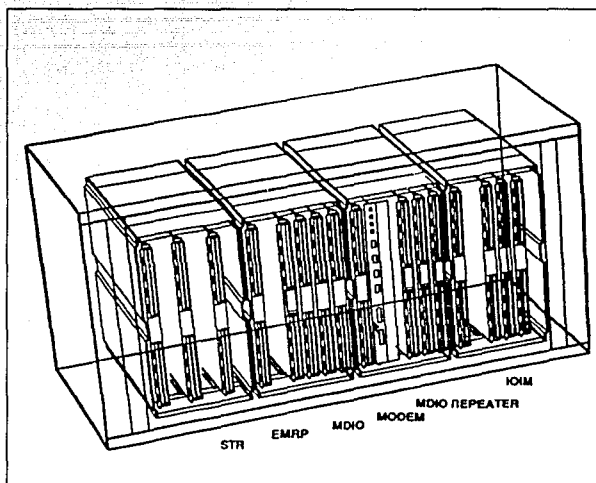


Figura II.2.1.10.-Nodo de control de la microcélula.

En la figura II.2.1.11 se muestra la trayectoria que siguen tanto la voz como los datos en una microcélula.

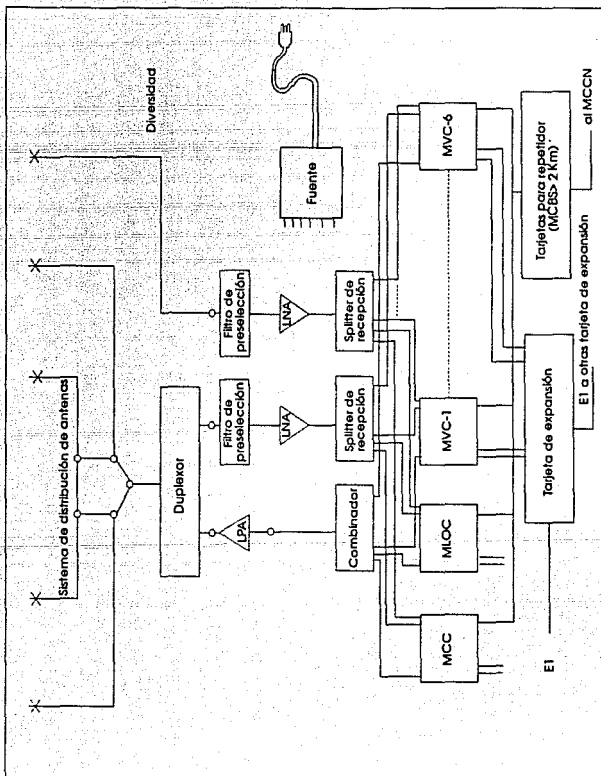


Figura IL2.1.11.-Bloque funcional de una microcélula.

II.2.2.- REPETIDORES CELULARES.

Debido a que el costo de una estación radiobase es alto, los repetidores celulares son algunas veces usados para dar servicio en áreas que no son cubiertas por la red de Telefonía Celular. Los repetidores celulares son más baratos que una estación radiobase y pueden ser muy útiles, pero sus limitaciones deben ser entendidas para tener un buen aprovechamiento de los mismos; actualmente se tienen disponibles en el mercado un buen número de estos equipos, que son indispensables en áreas aisladas de baja densidad de tráfico de llamadas. Este tema trata de aplicaciones típicas para sistemas repetidores.

Hay básicamente dos tipos de Repetidores Celulares:

- 1.- Broad Band Repeater (BBR, Repetidor de Banda Ancha, también llamado Cell Extender Repeater, CER, Repetidor Extendedor de Célula)
- 2.- Cell Replacement Repeater (CRR, Repetidor Remplazante de Célula)

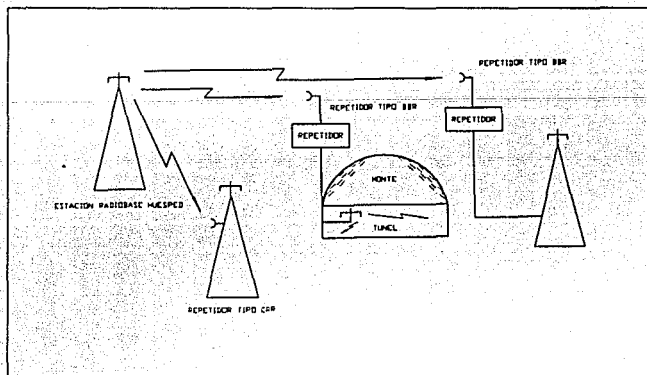


Figura II.2.2.1.- Estación radiobase con diferentes tipos de repetidores celulares.

estos repetidores son mostrados en la figura II.2.2.1; los repetidores del tipo BBR amplifican todos los canales de la Banda A o de la Banda B, según la banda de frecuencias de telefonía celular que se este empleando en el sistema; para tener un aislamiento y un consumo total de potencia razonable, este tipo de repetidor deberá tener una baja potencia de transmisión por canal.

El repetidor del tipo CRR de alta potencia, a diferencia del anterior, amplifica solamente unos cuantos canales, en este caso se lleva a cabo una traslación de frecuencias, dando como resultado que las frecuencias manejadas en este sean diferentes a las que se envían desde la estación radiobase principal. Este tipo de repetidor es comunmente usado a lo largo de carreteras en donde el extender cobertura no representa manejar altos niveles de tráfico. A continuación se describirá el funcionamiento de estos dos tipos de repetidores celulares, teniendo como fin un óptimo aprovechamiento en el empleo de los mismos.

II.2.2.1.- REPETIDOR TIPO BBR (CER).

El repetidor BBR permite a una célula extender su cobertura en áreas adyacentes a la misma que no pueden ser cubiertas de otra manera, sin presentarse modificaciones en el sitio de la célula original. Estos repetidores están diseñados para cubrir áreas relativamente pequeñas, típicamente alrededor de 10 a 30 Km.

Como se muestra en la figura II.2.2.1.1, este tipo de repetidor es simplemente un amplificador de banda ancha, que amplifica y repite los canales de la estación radiobase huésped; este tipo de repetidor tiene típicamente un precio de alrededor del 10% del costo de un nuevo sitio celular, pero el mismo tiene serias limitaciones.

Usando un amplificador de banda ancha se hace difícil el tener un corte fino en los bordes de la banda, la figura II.2.2.1.2 muestra que la decisión de colocar los canales de control para la banda A y para la banda B adyacentes unos de otros, fué tomada sin considerar una limitación en el funcionamiento de estos repetidores; en la figura antes mencionada podemos apreciar que con fltros prácticos la ganancia sobre los canales de control de cualquiera de las dos bandas no es

consistente o los canales de control adyacentes a la banda de frecuencias empleada también serán amplificados.

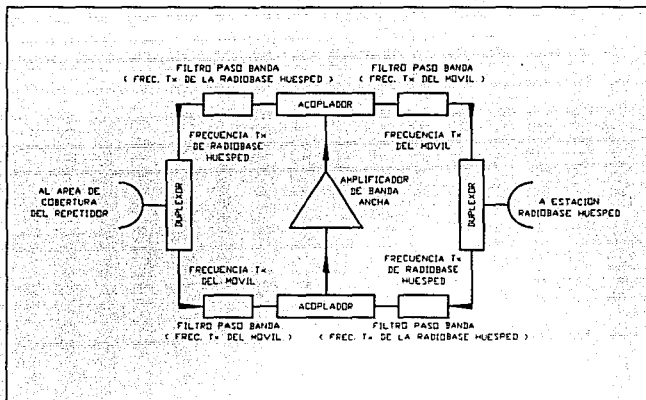


Figura II.2.2.1.1.-Repetidor tipo BBR simple.

Un filtro que produce amplificación de canales de control en forma diferencial causará severas restricciones en la flexibilidad del patrón celular, ya que solo podrán ser repetidos los canales de control que estén cercanos a frecuencias de canales de voz.

Si de igual manera se utiliza un filtro que amplifica todos los canales de control, entonces pueden ocurrir problemas en la banda de frecuencias adyacente; por ejemplo, si uno de estos equipos es usado sobre la banda A, como se muestra en la figura II.2.2.1.3, entonces los canales de control de la banda B adyacente son amplificados en la misma área de cobertura extendida, amplificando los canales de control de la banda A se provocan muchas llamadas no exitosas en la

banda B, ya que el repetidor repetirá los canales de control de esta banda, pero no los canales de voz.

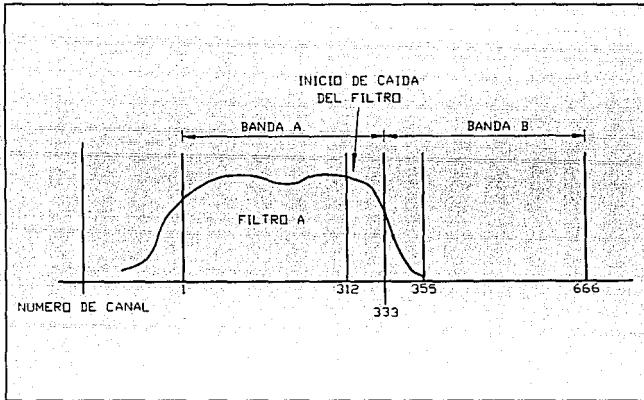


Figura II.2.2.1.2.- Los filtros de este tipo de repetidores tienen cortes asimétricos alrededor de los canales de control; este filtro pasa banda corta en el borde de los canales de control.

Otro problema en un sistema básico de repetidores como este, es la cancelación por multitrayectoria de propagación sobre los canales de control, la figura II.2.2.1.4 mostrada más adelante ilustra este problema, se trata de interferencia destructiva que deja el área sin servicio. Tal interferencia puede ocurrir sobre el área donde la trayectoria directa de la estación radiobase huésped y la transmisión del repetidor tienen una diferencia en la intensidad de campo de 3 dB una de otra. Este es un problema que en su mayor parte ocurre sobre canales de datos, esto se puede reconocer por la existencia de áreas donde las llamadas no pueden ser realizadas o recibidas de manera confiable, pero donde la comunicación de voz, establecida en otra parte, esta presente.

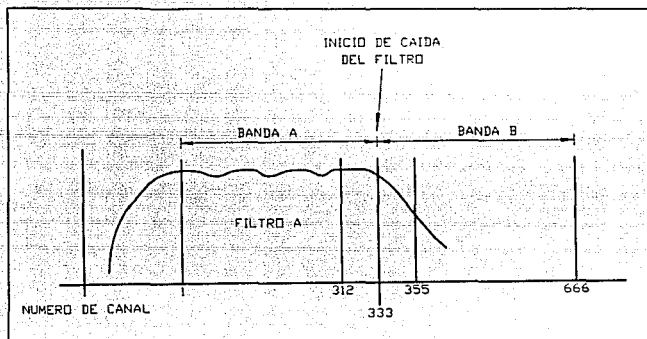


Figura IL.2.2.1.3.- Los filtros pueden darnos una respuesta estable sobre los canales de control deseados. Este filtro pasa banda nos da una respuesta estable sobre los canales de control de operación, pero también amplifica significativamente los canales de control de la banda adyacente.

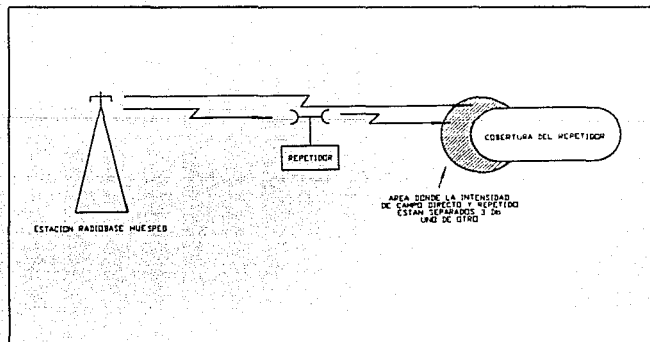


Figura IL.2.2.1.4.- Interferencia destructiva en los canales de control puede ocurrir en sistemas repetidores del tipo BBR.

Debido a que los repetidores de este tipo amplifican su misma señal de entrada, estos se convierten en un oscilador potencial, como se muestra en la figura II.2.2.1.5; en la práctica, el aislamiento entre las antenas transmisora y receptora debe exceder la ganancia por un margen de por lo menos 10 dB, para asegurar una operación estable, esto es, el aislamiento total entre la entrada y la salida debe ser 10 dB mayor que la ganancia. Una ganancia unitaria ó 0 dB de aislamiento en este caso darían un oscilador.

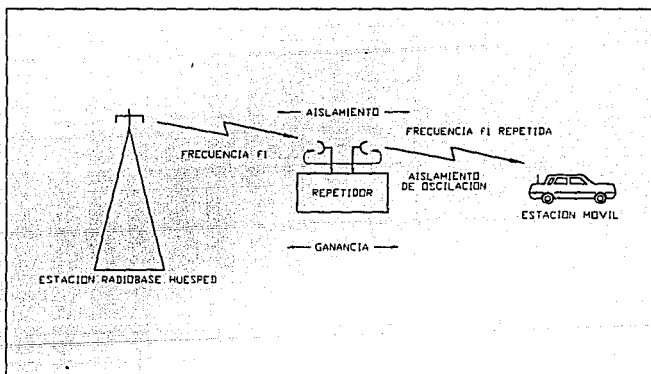


Figura II.2.2.1.5.- Un repetidor del tipo BBR es un oscilador potencial, debido a que las señales de entrada son retransmitidas sin realizarse una traslación de frecuencias.

Este aislamiento es usualmente proporcionado por antenas de alta ganancia con una buena relación front-to-back ó frente-espalda, más una separación vertical y horizontal de antenas. Los repetidores usualmente tienen una ganancia variable, ajustable sobre un amplio rango.

A fin de obtener niveles de potencia razonables del repetidor, es necesario operar bastante cercano a el margen de máxima ganancia, en general se usan ganancias de 60 dB.

Podemos calcular el aislamiento de antenas usando la siguiente fórmula:

$$\text{Aislamiento Vertical} = 25 + 40 \log (2.8 \cdot d) \text{ dB}$$

$$\text{Aislamiento Horizontal} = 22 + 20 \log (2.8 \cdot d) \text{ dB}$$

donde:

d es el espacio en metros

La figura II.2.2.1.6 muestra la localización de las antenas y la forma en que el espacio d es medido.

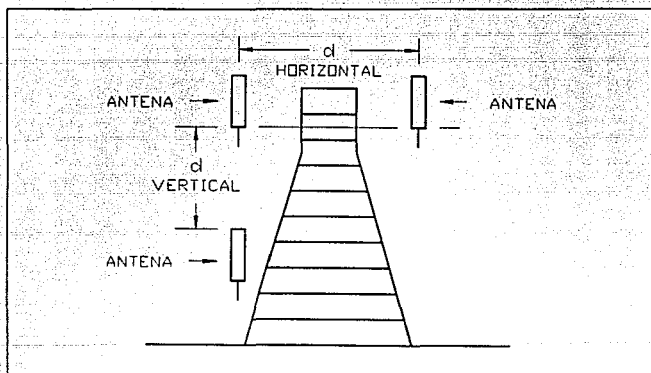


Figura II.2.2.1.6.- El aislamiento vertical se toma como la menor distancia entre las dos antenas. Las distancias deben ser medidas como se indica.

Usualmente, aunque no necesariamente, el repetidor sirve a una región relativamente pequeña que puede ser cubierta por medio de antenas direccionales. En donde una antena omnidireccional tenga que ser usada, el aislamiento es decrementado y la máxima potencia en el repetidor es limitada (debido al margen de oscilación).

La máxima ganancia que puede ser usada en el repetidor es calculada como sigue:

Máxima Ganancia = Aislamiento - Margen de Oscilación

Como se mencionó anteriormente, 10 dB es un valor práctico para el margen de oscilación.

Para calcular la potencia radiada, comenzamos con el ERP en la estación radiobase; por ejemplo:

50 watts = 47 dBm

Restando pérdidas por trayectoria $P = - P$

Señal recibida = 47 - P

Máxima ganancia de repetidor = Aislamiento - 10 dBm

Máxima ERP en el repetidor = 47 - p + Aislamiento - 10 dBm

Este aislamiento es en su mayor parte determinado por la selección y localización de las antenas.

La intermodulación es siempre un problema con amplificadores de banda ancha y un repetidor bien diseñado minimiza productos de intermodulación. Debido al ancho de separación entre la frecuencia enviada y recibida de un sistema celular (usualmente 45 MHz), usando amplificadores separados en las direcciones de envío y recepción puede contribuir significativamente a disminuir la intermodulación.

Debido al ancho de banda, ganancias y número de canales, la potencia de salida de un repetidor celular de este tipo está típicamente limitada a aproximadamente 0.25 watts por canal, este valor es adecuado para muchas aplicaciones de repetidores.

De las limitaciones referidas anteriormente sobre este tipo de repetidores, podemos notar que estas afectan adversamente en la transmisión de los canales de control más que en los canales de voz, un refinamiento obvio a los mismos sería el separar los canales de control de los de voz, usando un amplificador de banda angosta y procesando esto en forma separada, este refinamiento sobre los repetidores tipo BBR dan como resultado el repetidor conocido como Enhanced Cell Extenders Repeater (ECER, Repetidor Extendedor de Célula Mejorado).

En este repetidor se realiza una traslación de frecuencias sobre el canal de control, que es el único camino para eliminar los problemas de interferencia previamente discutidos, este proceso se realiza en la mayoría de los repetidores de nueva tecnología. En la figura II.2.2.1.7 se ilustra un repetidor de este tipo.

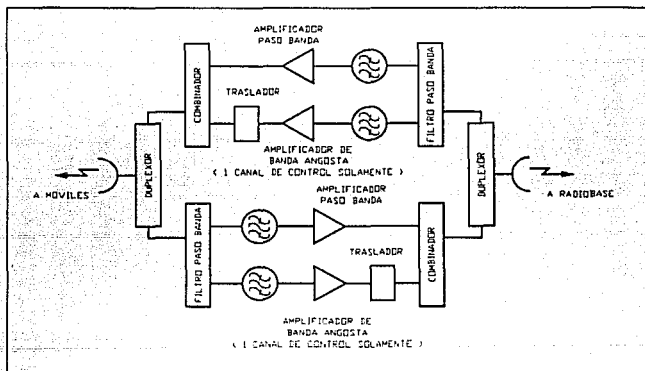


Figura II.2.2.1.7.- En un repetidor tipo ECER, los canales de control pueden ser filtrados y trasladados en frecuencia. Los canales enviados y recibidos son independientemente trasladados.

Debido a que los repetidores BBR solo repiten los canales requeridos para llamadas en la zona a cubrir por el mismo, la estación radiobase huésped no puede distinguir entre el tráfico local que maneja directamente en su zona de cobertura y el tráfico manejado en la zona del repetidor, así, la capacidad de tráfico del repetidor es adicionada aritméticamente a la capacidad del tráfico local, y para este caso, la estación radiobase está equipada con el suficiente número de canales para manejar todo este tráfico, lo que representa una cierta ventaja sobre los repetidores que a continuación se analizan, ya que estos están limitados a un cierto número de canales a repetir.

II.2.2.2.- REPETIDOR TIPO CRR.

El repetidor tipo CRR opera de una manera muy distinta a un repetidor básico y requiere de una interface en hardware y software con la estación radiobase huésped y con la central celular.

La figura II.2.2.2.1 muestra el repetidor tipo CRR, para este tipo, la estación radiobase principal o huésped puede actuar como una estación radiobase normal o, bajo el control del control extendido, un canal en particular puede ser usado como un canal de enlace para el repetidor. Analizando desde el punto de vista de la central celular, los canales repetidos son frecuencias ágiles y pueden cambiar de una frecuencia normal a una frecuencia de repetición (que deben caer dentro del ancho de banda del sistema de telefonía celular a utilizar).

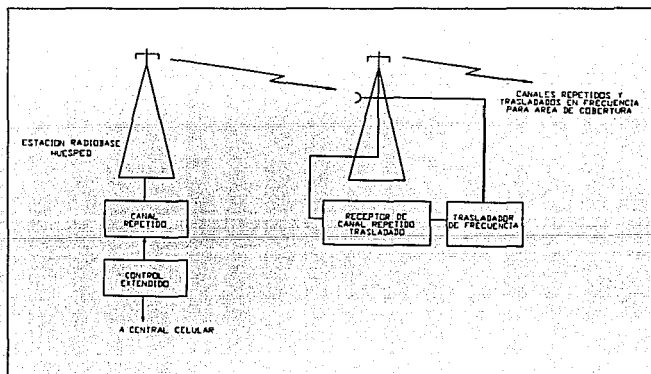


Figura II.2.2.2.1.- CRR utilizado para operaciones de repetición sobre áreas lejanas.

Este sistema evita interferencia de la estación radiobase principal hacia el sistema repetidor CRR porque diferentes canales (traslación de frecuencias) son usados en esta estación. El repetidor de este tipo puede entonces usar antenas omnidireccionales de alta potencia; los repetidores CRR son utilizados cuando una cobertura adicional de un área grande con unos cuantos usuarios es anticipada.

La estación repetidora consiste de dos repetidores espalda con espalda, este funcionamiento es similar al de una estación radiobase normal, pero este no necesita sistema de enlace ni sistema controlador. Este es más económico que una estación radiobase completa que se pudiera utilizar para cubrir el área requerida, esto lo podemos apreciar comparando los requerimientos de equipo mostrados en las figuras II.2.2.2.2 y II.2.2.2.3 que a continuación se aprecian.

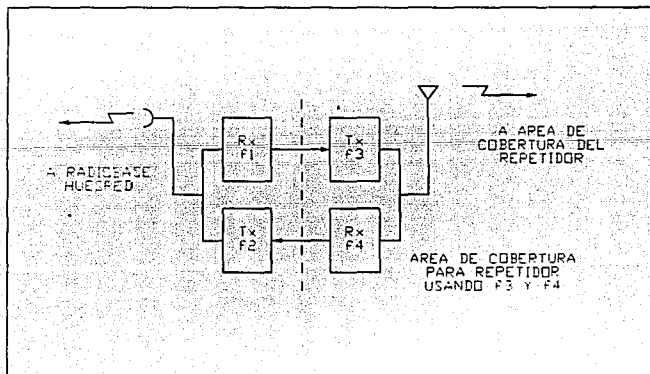


Figura II.2.2.2.- Un CRR consiste básicamente de dos transceptores espalda con espalda que permiten la traslación de frecuencias; no se necesita sistema de enlace ni sistema controlador

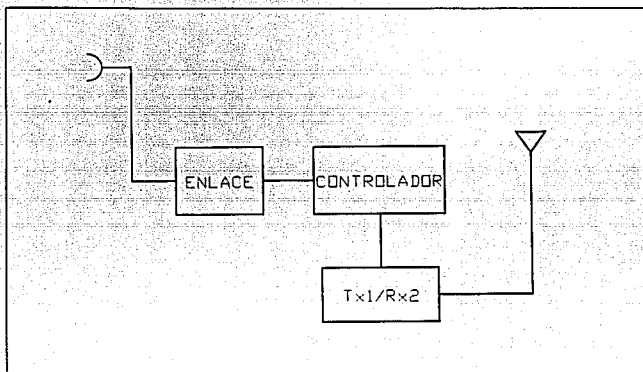


Figura IL.2.2.3.- Una estación radiobase consiste de un transceptor, un controlador de sitio y un enlace a la central celular. El controlador envía diferentes instrucciones de asignación de canales a las estaciones móviles dependiendo ya sea que estos se accesen a los canales f1/f2 directamente o se accesen a través del repetidor.

Para un pequeño número de canales a ser repetidos, el costo de un transceptor extra es mucho menor que el costo de un enlace más un controlador; sin embargo, el costo por canal del repetidor (requiriendo dos transceptores por canal) crece rápidamente con canales adicionales que tienen que ser introducidos en la estación radiobase.

Por ejemplo, supongamos que tenemos los siguientes costos:

1 transceptor cuesta \$ 8,000.00 dls (incluyendo combinador y antena)

1 enlace cuesta \$ 90,000.00 dls

1 controlador cuesta \$ 30,000.00 dls

1 control extendido cuesta \$ 10,000.00 dls

Asumiendo costos de otra infraestructura iguales (baterías, torre, espacio, etc.)

El costo de la estación base es:

$$\text{\$ } 90,000.00 + \text{\$ } 30,000.00 + \text{\$ } 8,000.00 \cdot N = \text{\$ } 120,000.00 + \text{\$ } 8,000.00 \cdot N$$

donde:

N es el número de canales

El costo de un repetidor es:

$$\begin{aligned} & (\text{\$ } 8,000.00 + \text{\$ } 16,000.00) (\text{ canal original } + 2 \text{ canales en repetidor }) \cdot N + \text{\$ } 10,000.00 \\ & = \text{\$ } 24,000.00 \cdot N + \text{\$ } 10,000.00 \end{aligned}$$

De lo anterior el costo se iguala cuando:

$$\text{\$ } 120,000.00 + \text{\$ } 8,000.00 \cdot N = \text{\$ } 24,000.00 \cdot N + \text{\$ } 10,000.00$$

esto es aproximadamente cuando $N = 7$

Debido a esto los repetidores CRR son usualmente disponibles en módulos de 7 canales (canales de 10 watts cada uno típicamente), por lo que es razonable asumir que este es el máximo límite de la viabilidad económica para este tipo de repetidor. Aún así, hay muchas aplicaciones donde siete canales son suficientemente adecuados a las necesidades.

Este tipo de repetidor es usado generalmente también en túneles y edificios sin cobertura en su interior, ya que estos manejan relativamente altas potencias, la cual no afectaría con el servicio que se presenta en el exterior de los mismos, debido al alto aislamiento que presentan estos dos para dejar salir la señal.

II.3.- ANTENAS

II.3.1.- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Una antena de radio puede ser definida como la estructura asociada con la región de transmisión entre la guía de onda y el espacio libre o viceversa.

La línea de transmisión es un dispositivo para transmitir o guiar la energía de radio-frecuencia de un punto a otro. Usualmente tratando de transmitir la energía con la mínima atenuación, calentamiento y pérdidas de radiación y tan pequeña como sea posible. Esto significa que cuando la energía está siendo transportada de un punto a otro, esta es confinada a una línea de transmisión o limitada cerca de ella. Dado que la onda transmitida a lo largo de la línea es en una dirección, y ésta no es esparcida fuera de su espacio pero si a lo largo de toda la línea.

Un generador conectado a una línea infinita de transmisión con pérdidas menores produce una onda de viaje a lo largo de la línea, si la línea es cortocircuitada, la onda de viaje es reflejada fuera de la línea produciendo un estancamiento en la onda debido a la interferencia entre la onda de salida y la onda reflejada, lo cual trae asociado consigo un incremento en la concentración de la energía y si la onda reflejada es igual a la onda de salida, tenemos un estancamiento en la onda. La energía concentrada cuando una onda oscila por un fenómeno enteramente eléctrico o uno enteramente magnético dos veces por ciclo le da una característica de resonancia al circuito. Por lo cual dado que las antenas radian (o reciben energía), la línea de transmisión guía la energía cuando el resonador es abastecido.

Cuando una onda guiada viaja a lo largo de la línea de transmisión y en la parte final se abre como lo muestra la figura II.3.1.1 en la cual la onda es radiada al espacio libre. La onda guiada es una onda plana por tanto en el espacio libre es una onda expandible esféricamente. Por otra parte a lo largo de la parte uniforme de la línea, la energía es guiada como una onda plana con pérdidas menores. Pero proporcionando un espaciado entre los alambres en una pequeña

fracción de la longitud de onda, de tal modo que la separación entre las líneas de transmisión se aproxime a la longitud de onda o más, la onda tendrá que ser radiada.

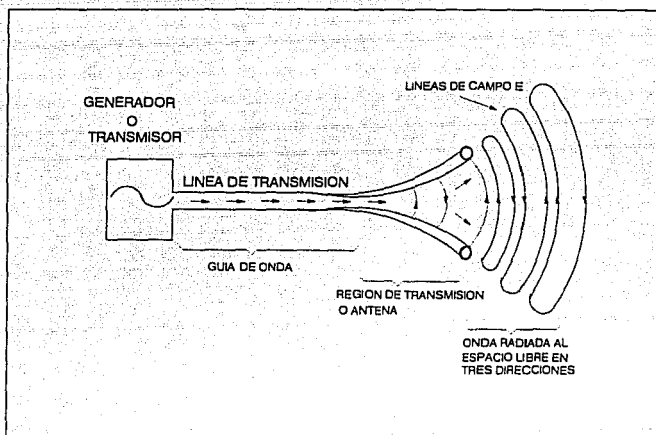


Figura H.3.1.1.- La antena es la región de transmisión entre una onda guiada por una línea de transmisión y la onda en el espacio libre.

Por lo anteriormente mencionado una antena es el paso al espacio libre de la corriente en la línea de transmisión. Por lo cual la región entre la transmisión y el espacio libre puede ser definida como una antena.

Hasta ahora hemos descrito a la antena como un dispositivo de transmisión o un dispositivo de recepción definido alrededor de éste y a una antena como la región entre la onda de transmisión y el espacio libre o entre la onda guiada y el espacio libre o viceversa.

Contrariamente a una línea de transmisión (o guía de Onda) la cual es usualmente realizada para minimizar la radiación, las antenas son diseñadas para radiar (o recibir) la energía tan efectivamente como sea posible. Dado que la antena como los ojos es un dispositivo de transformación el cual convierte fotones electromagnéticos en corrientes eléctricas.

II.3.2.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Considerando una línea de transmisión conectada a un dipolo o antena como se muestra en la figura II.3.2.1. El dipolo actúa como una antena dado que lanza a la onda al espacio libre. En adición a lo anteriormente dicho muchas características del resonador, cuando la energía es reflectada al término del dipolo da un incremento en la onda estacionaria y la energía promedio cerca de la antena. Por lo que el dispositivo, en este caso el dipolo, exhibe simultáneamente sus propiedades y características de una antena, una línea de transmisión y su resonador.

Refiriéndose a la figura II.3.2.1, la antena muestra la línea de transmisión como dos terminales en un circuito elemental teniendo una impedancia Z con un componente resistivo denominado resistencia de radiación R_r , dado que la antena es caracterizada por patrones de radiación o patrones que equivalen a la cantidad de señal en el espacio libre

La Resistencia de radiación R_r no está asociada con ninguna resistencia propia de la antena, pero es una resistencia acoplada a la misma la cual envuelve el medio ambiente que se encuentra entre las terminales.

Asociado con el término resistencia de radiación, está el término temperatura de la antena T_a , teniendo pocas pérdidas, esta temperatura no tiene nada que ver con la temperatura física propia de la antena, pero sí está relacionada con la temperatura en diferentes regiones del espacio acoplado a la antena via la resistencia de radiación. Actualmente la temperatura de la antena no es una propiedad inherente de la antena sino un parámetro del cual depende. Ambos términos la resistencia de radiación R_r y la Temperatura de la antena T_a son simples valores de cantidades escalares.

El patrón de radiación, por otro lado envuelve las variaciones en la potencia, en función de las dos coordenadas esféricas ϕ y θ .

La figura II.3.2.2 muestra el patrón de radiación donde r es proporcional a la intensidad a cierta distancia de la antena en la dirección ϕ y θ . El patrón muestra un lóbulo principal máximo en la dirección ($\theta = 0$) con lóbulos menores (lóbulos laterales) en otras direcciones. Para

especificar el patrón de radiación con respecto a la intensidad de la señal y la polarización se requieren 3 puntos.

- 1.- La componente θ de la intensidad eléctrica como una función del ángulo θ o $E_{\theta}(\theta, \phi)$ (Um^{-1})
- 2.- la componente de intensidad eléctrica como una función del ángulo θ y ϕ o $E_r(\theta, \phi)$ (Um^{-1})
- 3.- Las fases como una función de los ángulos θ y ϕ o $\alpha_r(\theta, \phi)$ y $\alpha_{\theta}(\theta, \phi)$ (rad o grados)

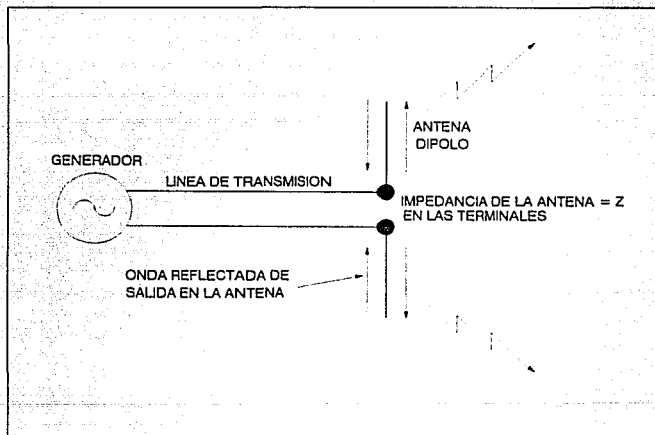


Figura II.3.2.1.- Generador y línea de transmisión conectados a un dipolo

Dividiendo la intensidad de la componente entre el valor máximo, se obtiene el patrón de radiación normalizado el cual es un número adimensional con un máximo valor por unidad, dado que el patrón normalizado para la componente θ de la intensidad eléctrica esta dado por

$$E_n(\theta, \phi) = \frac{E_a(\theta, \phi)}{E_p(\theta, \phi)} \quad (\text{adimensional})$$

a grandes distancias comparadas con la talla de la antena y la longitud de onda.

Dado que los patrones sólo pueden ser expresados en términos de potencia por unidad de área o el vector de Poynting $S(\theta, \phi)$ a cierta distancia de la antena. Y normalizando esta potencia con respecto al máximo patrón normalizado como una función del ángulo, el cual es una función adicional con un máximo valor de unidad. Se tiene que el patrón de potencia normalizado está dado por:

$$P_n(\theta, \phi) = \frac{S(\theta, \phi)}{S(\theta, \phi)_{\max}} \quad (\text{adimensional})$$

$$\text{Donde } S(\theta, \phi) = \text{Vector de Poynting} = [E_\theta(\theta, \phi) + E_\phi(\theta, \phi)] \frac{1}{Z_0} \quad (Wm^{-2})$$

$$S(\theta, \phi)_{\max} = \text{máximo valor de } S(\theta, \phi) \quad (Wm^{-2})$$

$$Z_0 = \text{Impedancia intrínseca del espacio} = 376.7 \Omega$$

Alguno de estos patrones de potencia puede ser representado en tres dimensiones en coordenadas esféricas, como se muestra en la figura II.3.2.2a o por cortes del plano del eje del lobulo principal.

Dos cortes en los ángulos xz y yz muestran el plano principal del patrón de radiación pudiendo ser suficiente con un corte en el eje z como lo muestra la figura II.3.2.2b, el mismo patrón es presentado en la figura II.3.2.2c en coordenadas rectangulares y en escala de decibelios la cual esta dada por:

$$dB = 10 \text{Log}_{10} P_n(\theta, \phi)$$

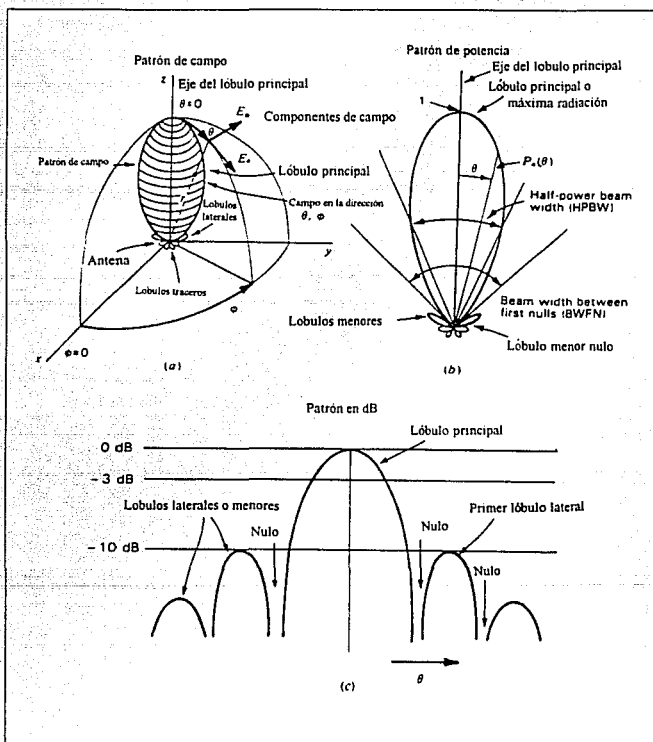


Figura II.3.2.2.- (a) Patrón del campo con coordenadas del sistema. (b) Patrón de la potencia de la antena. (c) Patrón de la antena en coordenadas rectangulares y escala logarítmica en decibeles.

II.3.2.1.- INTENSIDAD DE RADLACION.

La potencia radiada de una antena por unidad de ángulo sólido es denominado intensidad de radiación U (Wats por stereoradianes). El patrón de potencia normalizado de la sección previa puede ser solamente expresado en términos de los siguientes parámetros, como el radio de intensidad de radiación $U(\theta, \phi)$ o como una función del ángulo, por lo que el valor máximo queda:

$$Pn(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U(\theta, \phi)_{\max}} = \frac{S(\theta, \phi)}{S(\theta, \phi)_{\max}}$$

Considerando el vector de Poynting vector S dependiente de la distancia de la antena (variando inversamente al cuadrado de la distancia), la intensidad de radiación U es independiente de la distancia.

II.3.2.2.- DIRECTIVIDAD.

La directividad D de una antena esta dada por el radio de la máxima intensidad de radiación (Potencia por unidad de ángulo sólido) $U(\theta, \phi)_{\max}$ para el promedio de unidad de radiación U_{av} (promedio sobre una esfera) o a cierta distancia de la antena la directividad puede ser expresada como el radio máximo de el promedio del vector de Poynting. Por lo tanto:

$$D = \frac{U(\theta, \phi)_{\max}}{U_{av}} = \frac{S(\theta, \phi)}{S_{av}} \quad (\text{adimensionales})$$

Tanto los valores de la intensidad de radiación como el vector de Poynting pueden ser medidos en el campo lejano de la antena. Dado que el promedio del vector de Poynting sobre una esfera esta dado por:

$$S(\theta, \phi)_{av} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} S(\theta, \phi) d\Omega \quad (\text{Wm}^{-2})$$

Por lo cual la directividad queda:

$$D = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \iint \frac{S(\theta, \phi)}{S(\theta, \phi)_{\max}} d\Omega} = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \iint Pn(\theta, \phi) d\Omega}$$

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_0}$$

II.3.2.3.- DIRECTIVIDAD Y GANANCIA

La ganancia de una antena (referida a una fuente con pérdidas menores isotópica) depende de la directividad y eficiencia. Si la eficiencia no es el 100%, la directividad es menor dado que la ganancia:

$$G = kD \quad (\text{adimensional})$$

donde K= factor de eficiencia de la antena ($0 \leq k \leq 1$), adimensionales.

II.3.2.4.- POLARIZACION.

La polarización de una onda es la dirección del campo eléctrico, la onda eléctrica en el campo lejano tiene solo θ y ϕ componentes del campo eléctrico.

$$E = E_{\theta} a_{\theta} + E_{\phi} a_{\phi}$$

E_{θ} y E_{ϕ} son los fasores de las componentes en la dirección de la unidad del vector a_{θ} y a_{ϕ} . Por lo cual nosotros podemos solo expresar la dirección del campo eléctrico en términos de una onda plana propagándose a lo largo del eje z.

$$E = E_x a_x + E_y a_y$$

La dirección del campo que conforma al campo eléctrico en un plano y la polarización se obtiene a través de métodos para describirlo en el espacio de dos dimensiones. Las dos dimensiones antes mencionadas son expresadas en la polarización lineal. Por lo cual nosotros podemos escribir lo anterior en las sig. ecuaciones:

$$E = E_{\theta}(a_{\theta} + \rho_L a_{\phi}) \quad \overline{\rho_L} = \frac{E_{\phi}}{E_{\theta}}$$

$$E = E_x(a_x + \rho_L a_y) \quad \overline{\rho_L} = E_y/E_x$$

Donde ρ_L es el radio de la polarización lineal, como una constante compleja. Si el tiempo es insertado dentro de la expresión, el campo eléctrico puede ser trazado en el espacio sobre el tiempo y aproximarse a una elipse con la rotación del campo eléctrico, como lo muestra la figura II.3.2.2 teniendo la dirección de la polarización de la elipse y el máximo ángulo de respuesta.

Si $\overline{\rho_L} = e^{j\frac{2\pi}{\lambda} z}$, la elipse se expande a círculo y da el caso especial de la polarización circular.

II.3.2.5.- AREA DE EMISION (O ANGULO SOLIDO DE EMISION)

Refiriéndonos a la figura II.3.2.3a, donde el arco de longitud $r\theta$ sustenta el ángulo θ , y el ángulo total en el círculo es 2π rad (o 360°) siendo la longitud total del arco es $2\pi r$ (igual a una circunferencia).

Una área A de la superficie de una esfera como se muestra desde el centro de la esfera sustenta un ángulo sólido Ω como se muestra en la Figura II.3.2.3b, el ángulo sólido total sustentado por la esfera es 4π stereradianes (o radianes cuadrados)

Para analizar de mejor manera el ángulo sólido se muestra la figura II.3.2.4, aquí el incremento de área dA de la superficie de la esfera está dado por:

$$dA = (r \cdot \text{sen}\theta \cdot d\phi)(r \cdot d\theta) = r^2 \text{sen}\theta \cdot d\theta \cdot d\phi = r^2 d\Omega$$

donde $d\Omega$ = ángulo sólido sustentado por el área dA .

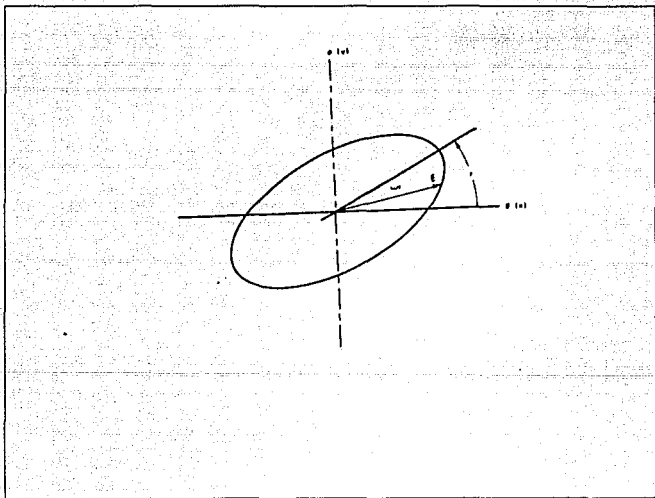


Figura II.3.2.2.- Polarización Elíptica

El área de la tira de ancho $r d\theta$ extendiéndose alrededor de la esfera en un ángulo constante está dada por $(2\pi r \sin\theta)(r d\theta)$, integrando para valores de θ desde 0 a π produce el área de la esfera. Así,

$$\text{Área de la esfera} = 2\pi r^2 \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta = 2\pi r^2 [-\cos\theta]_0^\pi = 4\pi r^2$$

donde 4π = ángulo sólido sustentado por una esfera.

Así 1 steradian = 1 sr = (ángulo sólido de la esfera)/(4π)

$$= 1 \text{ rad}^2 = \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{deg}^2) = 3282.8 \quad (\text{grados cuadrados})$$

Por lo tanto,

$$4\pi \text{steradianes} = 3282.8064 \times 4\pi = 41,352.96 \cong 41,253 \quad (\text{grados cuadrados})$$

=Ángulo sólido de una esfera.

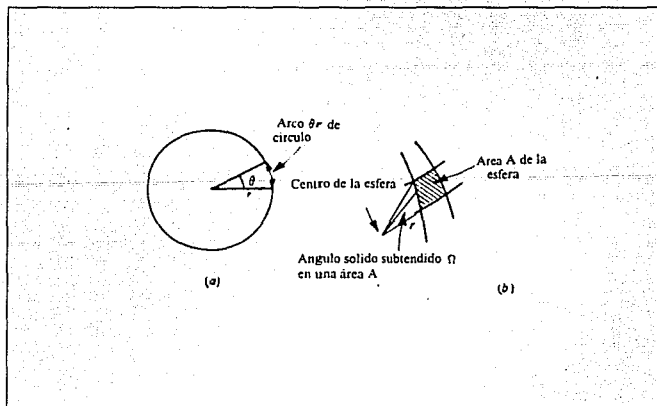


Figura 11.3.2.3.- (a) Longitud de arco de un círculo de radio r sustentado en un ángulo θ . (b) El área A de una esfera de radio r sustentado en un ángulo sólido Ω .

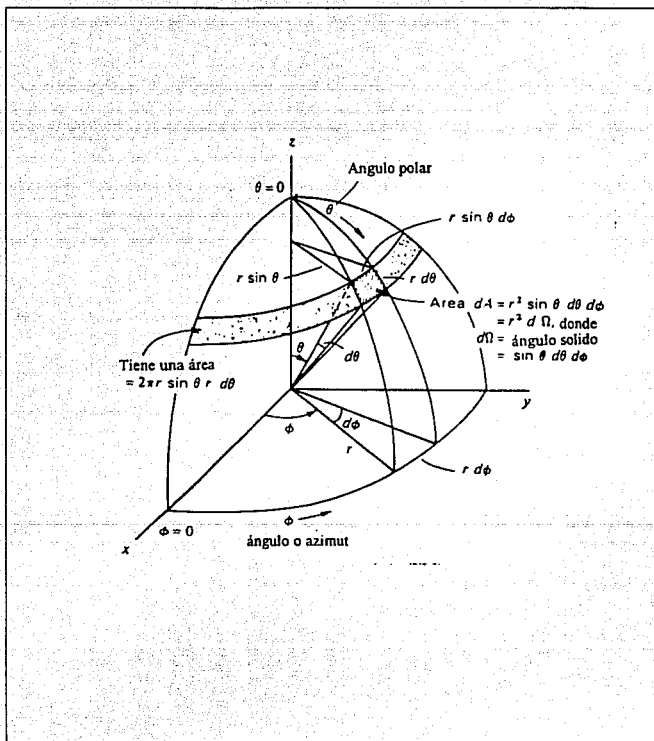


Figura 1L3.2.4.- Coordenadas esféricas en relación con el área dA del ángulo sólido $d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi$.

Ahora el área de emisión (o ángulo sólido de emisión) para una antena está dado por la integral del patrón de potencia normalizado sobre una esfera (4π sr) o

$$\Omega_e = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_n(\theta, \phi) d\Omega$$

donde $d\Omega = \sin\theta \, d\theta \, d\phi$

Refiriéndose a la figura II.3.2.5, el área de emisión Ω_e de un patrón actual es equivalente al mismo ángulo sólido sustentado por el gorro de la esfera del patrón del cono formado (sección triangular cruzada).

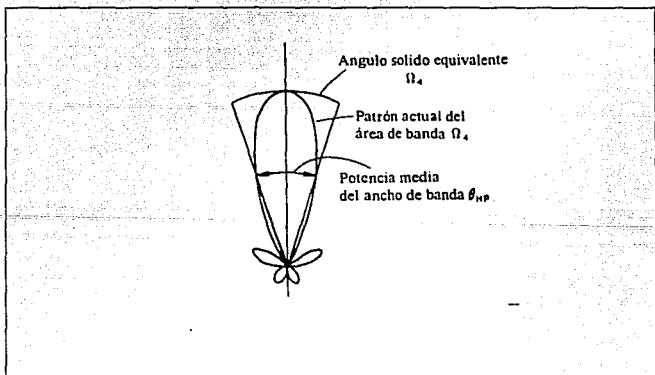


Figura II.3.2.5.- Sección cruzada simétrica del patrón de potencia de la antena, mostrando el ángulo sólido equivalente.

Este ángulo sólido puede algunas veces ser descrito aproximadamente en términos de los ángulos sustentados por los puntos de potencia media del lóbulo principal en los dos planos principales como el dado por:

$$\Omega_A = \theta_{HP} \phi_{HP}$$

donde θ_{HP} y ϕ_{HP} son los anchos de emisión de potencia media (HPBW) en los dos planos principales.

II.3.2.6.- ALTURA EFECTIVA.

La altura efectiva h (metros) de una antena es otro parámetro relacionado con la apertura. Multiplicando la altura efectiva por el campo incidente S (Volts por metro) de la misma polarización nos da el voltaje V inducido.

$$V = hE$$

La altura efectiva puede ser definida como la razón del voltaje inducido al campo incidente

$$h = \frac{V}{E} \quad (m)$$

Consideremos, por ejemplo, un dipolo vertical de longitud $l = \lambda/2$ inmerso en un campo incidente E , como lo muestra la figura II.3.2.6a, si la distribución de corriente del dipolo fue uniforme, su altura efectiva será L , la distribución de corriente actual es casi senoidal con un valor promedio $2/\pi = 0.64$ (del máximo) así que su altura efectiva es $h = 0.64L$, donde se asume que la antena está orientada para máxima respuesta.

Si el mismo dipolo es usado en una longitud de onda grande, la corriente va disminuyendo casi linealmente desde el punto de alimentación central hasta cero al final de una distribución triangular, como se muestra en la figura II.3.2.6b, la corriente promedio es $1/2$ del máximo, así que la altura efectiva es $0.5L$.

Otro camino para definir la altura efectiva es considerar el caso de transmisión y considerar equivalente la altura efectiva con la altura física (o longitud L) multiplicando por la corriente promedio (normalizada) o

$$h_e = \frac{1}{I_0} \int_0^{L/2} I(z) dz = \frac{I_{av}}{I_0} h_p \quad (m)$$

donde h_e = altura efectiva, m

h_p = altura Física, m

I_{av} = corriente promedio

El parámetro apertura efectiva tiene aplicación más general para todos los tipos de antenas, dado que tienen una relación simple.

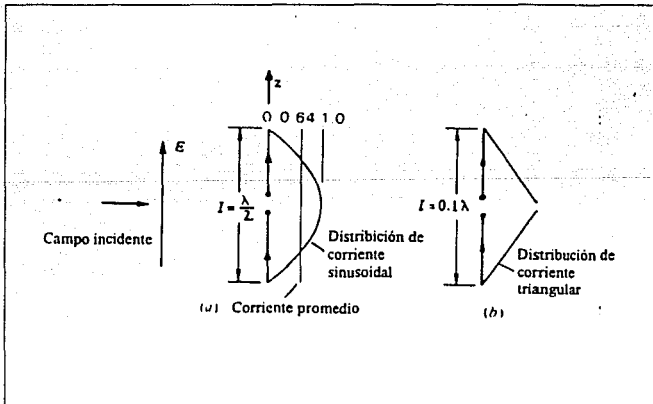


Figura 11.3.2.6.- (a) dipolo con longitud $l = \lambda/2$ con distribución de corriente sinusoidal. (b) Dipolo con longitud $l = 0.1\lambda$ con distribución de corriente triangular.

Para una antena de resistencia de radiación R_r igual a su carga, la potencia transmitida a la carga es:

$$P = \frac{1}{4} \frac{V^2}{R_r} = \frac{h^2 E^2}{4 R_r} \quad (\text{a})$$

En términos de la apertura efectiva la máxima potencia esta dada por:

$$P = S A_e = \frac{E^2 A_e}{Z_0} \quad (\text{b})$$

donde $Z_0 =$ impedancia intrínseca del espacio ($= 377$) igualando (a) y (b) obtenemos.

$$h_e = 2 \sqrt{\frac{R_r A_e}{Z_0}} \quad (\text{m}) \quad \text{y} \quad A_e = \frac{h_e^2 Z_0}{4 R_r} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{c})$$

Esta altura efectiva y apertura efectiva están relacionadas a través de la resistencia de radiación y la impedancia intrínseca del espacio.

II.3.3.- ANTENAS UTILIZADAS EN TELEFONIA CELULAR.

Para cubrir una mayor área de cobertura se utilizan antenas omnidireccionales de alta ganancia como las que se muestran en la figura II.3.2.7 donde se muestran dos patrones de antenas para 6 dB y 9 dB respectivamente.

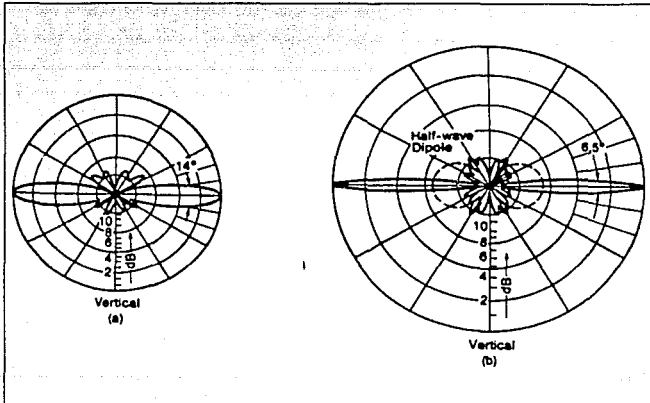


Figura II.3.2.7.- Antenas omnidireccionales de alta ganancia.

Cuando un sistema inicia células omnidireccionales son utilizadas trayendo consigo que todas las antenas usadas de transmisión sean omnidireccionales, cada antena de transmisión puede transmitir la señal de 16 radios simultáneamente usando combinador para los 16 canales, cada célula normalmente tiene 3 antenas de transmisión las cuales sirven para la transmisión de voz de 45 canales simultáneamente amplificando cada señal enviada por su propio amplificador de canal

en cada radiotransmisor (señales de radio) pasando a través de un combinador de 16 canales y transmitiendo por las antenas como se muestra en la figura II.3.2.8a.

Dos antenas de recepción comúnmente pueden recibir los 45 canales de voz de la señal de radio simultáneamente, dado que para cada canal dos señales idénticas de recepción son captadas por las antenas antes mencionadas pasando a través de la diversidad de recepción de los canales. La configuración de las antenas de recepción montadas en el soporte se muestra en la figura II.3.2.8

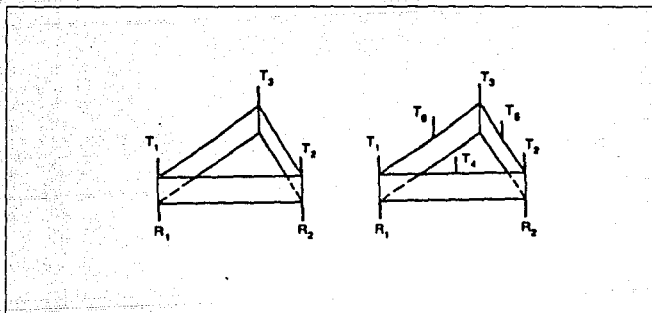


Figura II.3.2.8.- Sitio celular con antenas omnidireccionales (a) para 45 canales. (b) para 90 canales.

II.3.3.1.- CONFIGURACION ANORMAL DE ANTENAS.

Usualmente el tráfico de llamadas en cada celda se incrementa conforme el número de suscriptores aumenta por lo cual algunos sitios celulares requieren de un gran número de radios para soportar el incremento de tráfico requerido. Un sitio omnidireccional puede ser equipado con

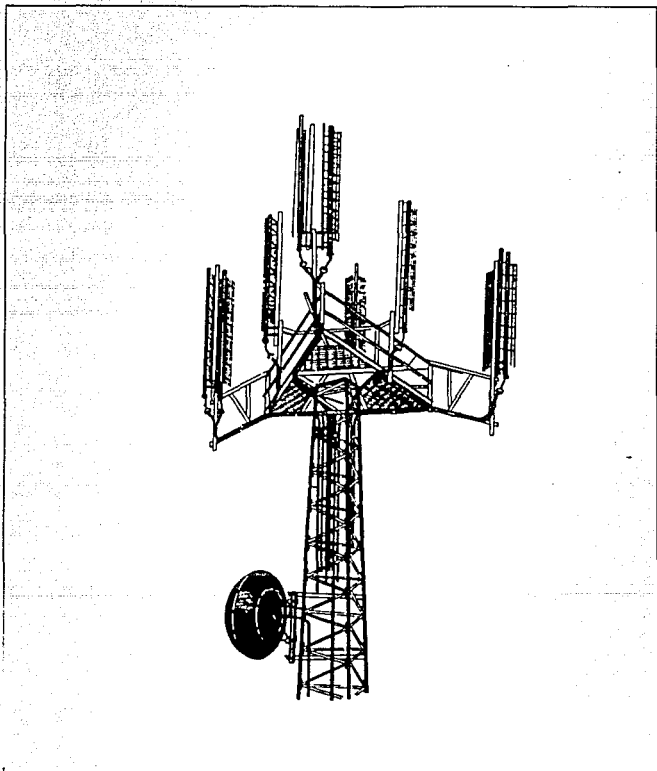


Figura 11.3.2.9.- Sistema de Radio Celular (Montado de antenas en el sitio).

más de 90 canales de voz, y en tal caso, seis antenas transmisoras deben ser usadas como se muestra en la figura II.2.3.8b, mientras que el número de antenas de recepción es únicamente 2. El orden para poder reducir el número de antenas de transmisión, es el utilizar un combinador híbrido el cual puede combinar dos señales de 16 canales que sean captadas, esto significa que solo tres antenas de transmisión son requeridas para transmitir 90 señales de radio.

El problema se presenta en cuanto a que cualquier combinador tiene problemas de limitación de potencia por arriba de los 600 W en donde las pérdidas son aproximadamente de 3dB.

Otro problema que algunas veces se presenta es la interferencia, por lo cual para reducir este problema se utilizan antenas direccionales, usando el re uso de frecuencias, pero tratando de reducir el problema de interferencia cocanal. Este problema se puede reducir a través del factor $q=D/R=4.6$, el cual esta basado asumiendo que el terreno es plano, pero dado que en la realidad raras veces es plano, nosotros podemos incrementar el factor q o el uso direccional de las antenas así como disminuir su potencia.

II.3.3.2.- ANTENAS DIRECCIONALES.

Un Reflector de esquina de 120° o un Reflector plano de 120° puede ser usado en un sector de 120° de apertura. O de igual forma un reflector de 60° puede ser usado en un sector con solo 60° de apertura. Un patrón típico para una antena direccional de 120° de ancho de banda se muestra en la figura II 3 2. 10

II.3.3.3.- CONFIGURACION DE UN SISTEMA MADURO.

1.- Para un patrón celular $k=7$ (con sectores de 120°) y si los 333 canales son usados, cada célula tendría aproximadamente 45 radios. Cada sector de 120° podría tener una antena

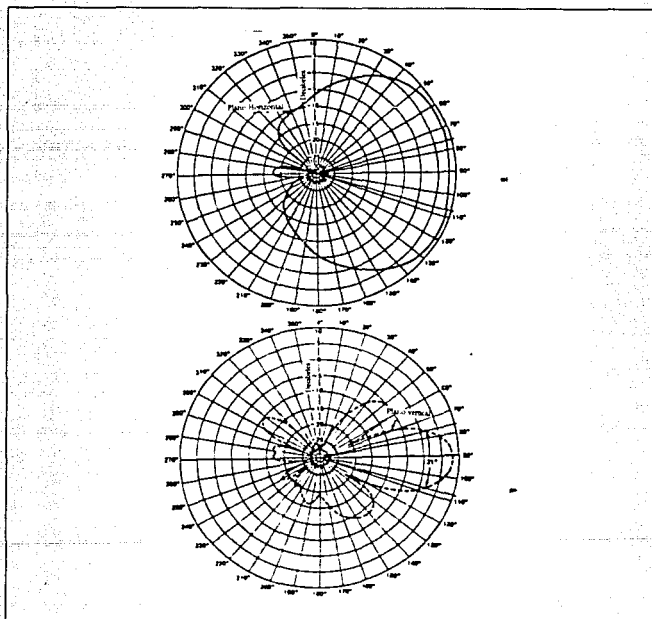


Figura II.3.2.10.- Típico patrón para una antena direccional de 120°

transmisora y dos antenas receptoras, las cuales podrían servir a 116 radios. Las dos antenas de recepción son usadas para la diversidad de espacio como se muestra en la figura II.3.2.11a.

2 - Para un patrón celular $k=4$ (Con sectores de 60°) Como comentario no se utiliza un patrón $k=4$ para un sistema de células omnidireccionales, dado que el re uso cocanal no es

adecuado para la distancia, más aún, en un patrón $k=4$ usando sectores 60° teniendo 24 sectores sólo dos aproximadamente son usados.

a) La transmisión recepción en sectores de 60° donde cada sector tiene una antena de transmisión la cual transporta la frecuencia de los radios y las frecuencia para hand-offs a otros sectores o a células vecinas en la misma estación base, en el patrón celular $k=4$ completo donde los 333 canales son usados, con 13 radios por sector, pudiendo utilizar una antena transmisora y una antena receptora en cada sector. Al término de la recepción de dos a seis antenas son seleccionadas para un ángulo de diversidad por cada canal de radio, como lo muestra la figura II.3.2.11b:

b) Con la recepción de sectores de 60° , antenas de recepción en sectores de 60° son usadas para localizar una unidad móvil y un hand-off a células vecinas con un alto grado de exactitud.

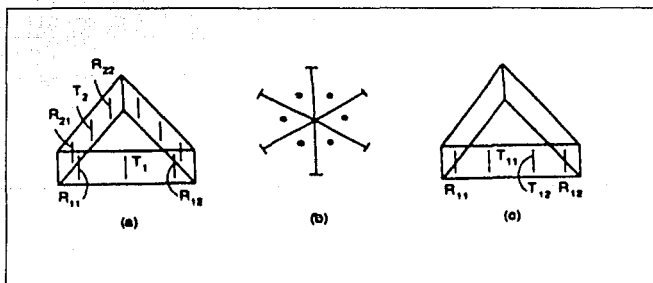


Figura II.3.2.11.- Arreglo de antenas direccionales: (a) sectores de 120° (45 radios) (b) sectores de 60° ; (c) sectores de 120° (90 radios)

Todas las antenas de transmisión son omnidireccionales en cada célula y al término de la recepción el ángulo de diversidad por cada canal de radio es sólo usado en este caso.

Si el tráfico de llamadas es incrementado gradualmente, hay una ventaja económica en los sistemas celulares, aumentando nuevas divisiones en las células del sistema celular (Dividiendo en pequeñas células), en tal forma, que cada sitio sea capaz de manejar más radios. Para un patrón con $k=7$ con sectores de 120° , con dos antenas de transmisión por cada sector como se muestra en la figura II.3.2.11c, cada antena sirve a 16 radios utilizando un combinador para 16 canales. Los adelantos en la tecnología pueden combinar 32 canales en un combinador, más aún, una sola antena de transmisión es necesaria en cada sector, por lo cual, una antena de transmisión puede ser capaz de transmitir un alto grado de transmisión de potencia. Si cada canal transmite 100 W, la potencia total en las antenas terminales podría resistir 3.2 KW.

El combinador de 32 canales tiene una limitación de potencia la cual es especificada por los fabricantes. Dado que dos antenas de transmisión de 120° mantienen el mismo espacio de diversidad

Nota:

Patrón Celular 7/21

Con 7/21 se entiende que los canales disponibles son divididos en 7 estaciones base con 3 células cada una ($7 \times 3 = 21$). El patrón celular 7/21 es usado ampliamente y provee un buen compromiso entre capacidad y calidad, figura II.3.2.12.

Patrón Celular 4/12

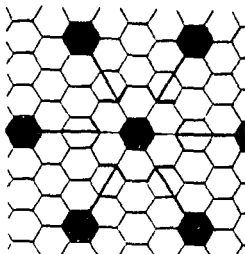
Con patrón celular 4/12 se entiende que los canales disponibles están divididos en 4 estaciones bases con 3 células cada una ($4 \times 3 = 12$). El D/R para 4/12 es aproximadamente el 75% del D/R para 7/21. El patrón 4/12 es usado solo para canales de voz, los canales de control son manejados por el patrón celular 7/21 para asegurar una alta probabilidad de accesos exitosos al sistema figura II.3.2.12.

12 CELULAS OMNI

**FUENTES DE INTERFERENCIAS
(EN RE-USO) DE CANALES
USANDO MISMAS FRECUENCIAS**

6 INTERFERENCIAS PRIMARIAS

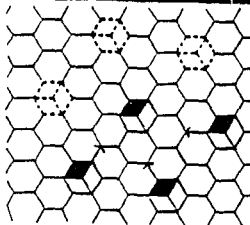
**DENSIDAD MAXIMA DE CANALES
9 CANALES POR MILLA CUADRADA**

**7 CELULAS CON
SECTORES DE 120°**

(TRES SECTORES)

3 INTERFERENCIAS PRIMARIAS

**DENSIDAD MAXIMA DE CANALES
15 CANALES POR MILLA CUADRADA**

**4 CELULAS CON
SECTORES DE 60°**

(SEIS SECTORES)

**1 INTERFERENCIA PRIMARIA
2 MENORES**

**DENSIDAD MAXIMA DE CANALES
26 CANALES POR MILLA CUADRADA**

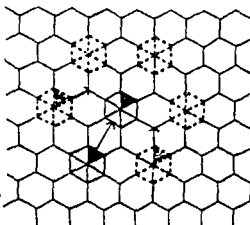


Figura II.3.2.12.- Configuración de los diferentes patrones de frecuencias.

II.3.3.4.- DIVERSIDAD DE ESPACIO EN SITIOS CELULARES.

Dos ramas en la diversidad de espacio para las antenas son usadas en los sitios celulares para la recepción de la señal con diferentes procedimientos, dado que los grados de correlación entre dos trayectorias es determinada por el grado de separación entre las dos antenas receptoras, cuando las dos trayectorias son combinadas el grado de pérdida es reducido; estas antenas como las que se muestran en la figura II.3.2.13a son representadas por la siguiente ecuación como un ejemplo para designar su uso:

$$\eta = \frac{h}{D} = 11$$

Donde h es la altura de la antena y D es la separación de la antena. De la ecuación anterior la separación $d \geq 8\lambda$ es necesaria para una altura de 30 m y la separación de $d \geq 14\lambda$ es necesaria para una antena de altura de 50 m. En cualquier sitio omnidireccional, la diversidad de espacio en las dos antenas debe ser alineada con el terreno, el cual debe ser plano o tener una forma de U como lo muestra la figura II.3..2.13b.

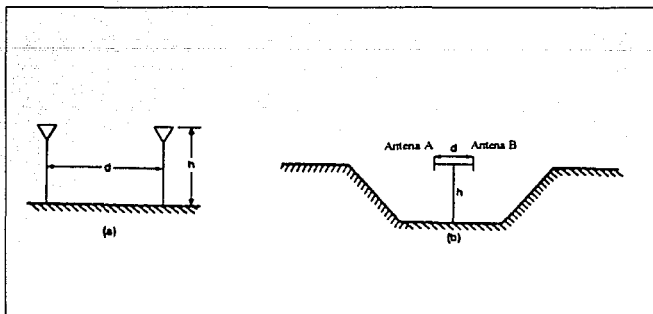


Figura II.3.2.13.- Espaciamento para la diversidad de las antenas en sitios celulares: (a) $\eta = h/d$; (b) arreglo propio de dos antenas.

Para controlar la energía en una área específica, las antenas con patrón sombrilla pueden ser desarrolladas para el uso de monopolos como se muestra en la figura II.3.2.14, el tamaño del lóbulo es dado por la inclinación del mismo, el cual esta dado por el disco que se encuentra en la parte superior del monopolo, por lo cual mientras más grande es el ángulo más pequeño es el lóbulo.

Los patrones de radiación que muestran las antenas disco-cono con efecto sombrilla (Una antena bicónica en la cual uno de los conos es extendido en un disco de 180°) el cual se muestra en la figura II.3.2.15a, el diámetro del disco, la longitud del cono y la apertura del cono pueden ser ajustados para crear un patrón sombrilla como el anteriormente descrito.

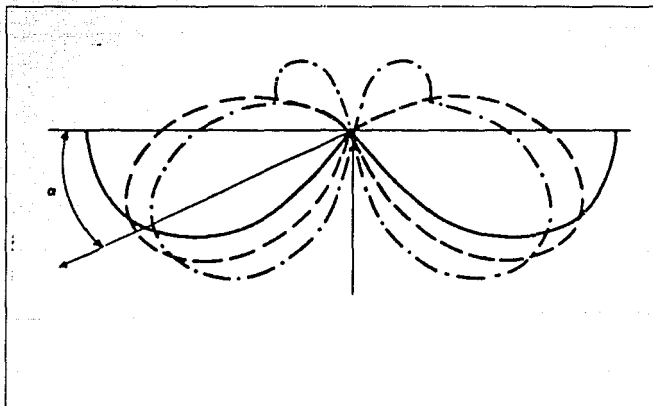


Figura II.3.2.14.- Patrón del plano vertical de un cuarto de la longitud de onda con un infinito plano de tierra (sólido) y un infinito plano de tierra con diferentes longitudes de onda con respecto al diámetro.

Una antena con patrón de radiación sombrilla de alta ganancia puede ser construida por una pila vertical de un número de antenas de patrones sombrilla como se muestra en la figura II.3.2.15b.

$$E_0 = \frac{\text{sen}[(Nd / 2\lambda) \cos \phi]}{\text{sen}[(d / 2\lambda) \cos \phi]}$$

Donde θ = Dirección de la onda de viaje.

N = Número de elementos.

d = Espaciamiento entre dos elementos adyacentes.

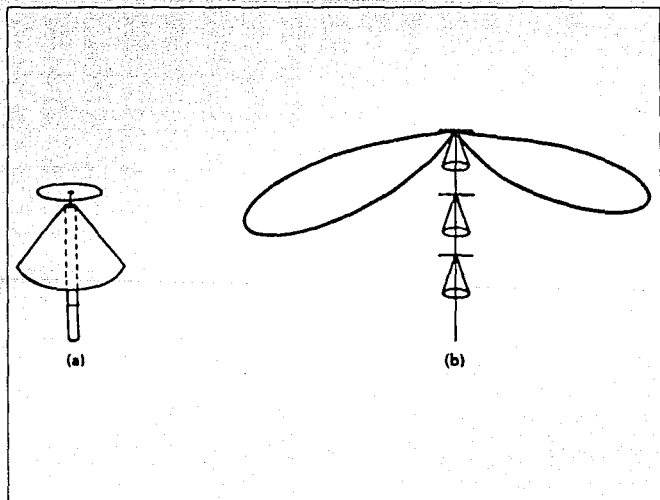


Figura II.3.2.15.- Antena Disco-cono, (a) Antena simple, (b) Arreglo de antenas.

II.3.3.5.- REDUCCION DE INTERFERENCIA ENTRE ANTENAS.

Un diseño para una configuración de antenas para poder reducir la interferencia se tiene en dos direcciones críticas (áreas) como se muestra en la figura II.3.2.16, el elemento parásito (aislamiento) es aproximadamente 1.05 veces más largo que los elementos activos. La separación "d" y las diferentes reactancias del elemento parásito son mostradas en la figura II.3.2.16.

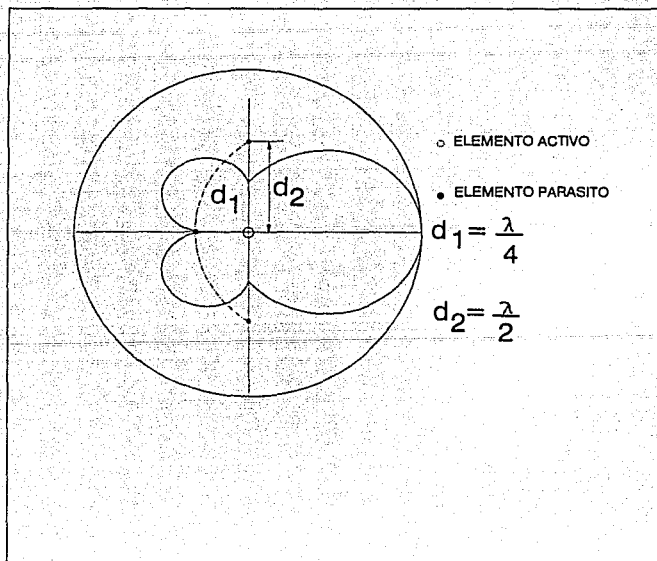


Figura II.3.2.16.- Aplicación de los elementos parásitos.

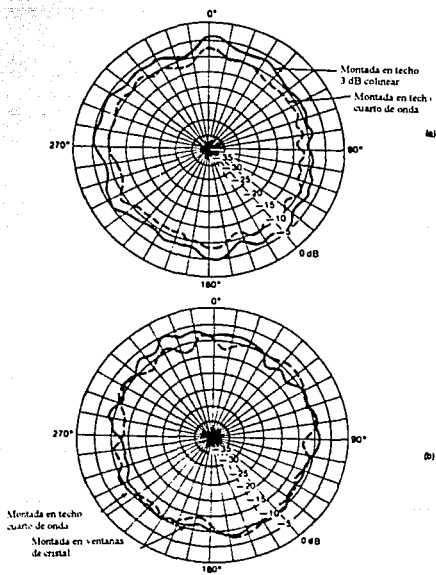


Figura II.3.2.17.- Patrones de antenas móviles (a) montada en techo con una ganancia de 3 dB. (b) montada en ventanas de vidrio.

II.3.3.6.- ANTENAS MÓVILES.

Los requerimientos de una antena móvil (montada en un vehículo) siendo ésta una antena omnidireccional, la cual se coloca lo más alto posible en el punto de recepción. En donde se encuentran limitaciones físicas dado que al colocar una antena en un vehículo ésta queda restringida. Encontrándose generalmente la antena colocada en el toldo del vehículo. Patrones de dos tipos de estas antenas móviles son mostradas en la figura II.3.2.17.

II.3.3.6.1.- ANTENAS MONTADAS EN TECHOS.

El patrón de una antena montada en techo está casi uniformemente distribuido alrededor de la unidad móvil como lo muestran las mediciones de la antena en un rango del espacio libre, lo cual se muestra en la figura II.3.2.18. La antena de alta ganancia 3dB es la antena utilizada en estas unidades móviles, la cual está limitada a determinada recepción, dado que el sitio celular es raramente tan alto como la antena de radiación lo es. Antenas móviles con una ganancia con más de 3 dB pueden recibir solo una limitada porción de la multitrayectoria total de la señal con la elevación que cuentan.

II.3.3.6.2.- ANTENAS MONTADAS EN CRISTALES.

Se tienen muchos tipos de antenas montadas en cristales dado que la energía es acoplada a través del cristal, al no ser necesario el perforar éste, puesto que la señal es trasladada a través de él. El rango de la ganancia de la antena varía de 1 a 3 dB dependiendo de la frecuencia de operación.

Dado que la posición de la antena al estar montada en el vidrio es siempre menor que la antena montada en el techo generalmente teniendo 2 dB de diferencia entre estos dos tipos de antenas

con la única restricción de que estas antenas no pueden ser montadas en vidrios sombreados, dado que estos tienen concentraciones de metal.

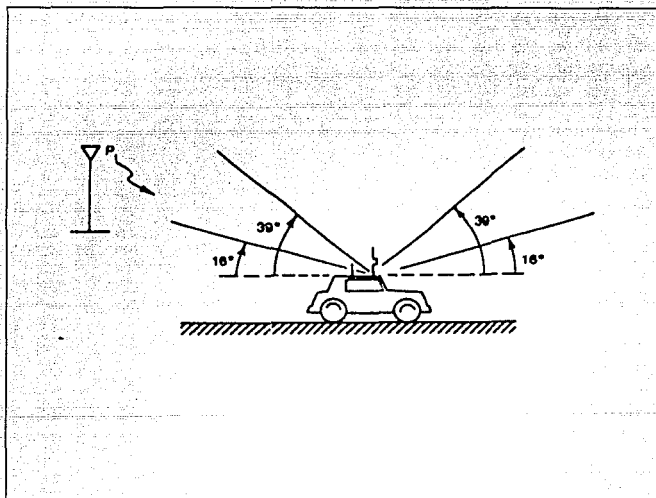


Figura II.3.2.18.- Ángulo vertical de la señal de recepción

II.4.- INTERCONEXIÓN CON LA RED DE TELEFONÍA CELULAR.

A pesar del incremento y la especularidad que experimentan los sistemas móviles de telecomunicaciones, el mercado no ha hecho más que empezar. El radio teléfono móvil, son nuevos logros que predicen un importante futuro una vez superadas las barreras administrativas, económicas o de otro tipo, que frenan su expansión, ya que tecnológicamente su desarrollo es importante y muy por arriba de la demanda del mercado.

La telefonía personal surgió en un principio como un nuevo servicio que hace posible dirigir llamadas a un abonado asociado a cualquier terminación de la red telefónica (no a una prefijada de antemano), en virtud de la propia entidad del mismo, y sin requerir por parte del que llama conocimiento alguno acerca de la situación especial del llamado; la propia red es la encargada de la localización del mismo previa su identificación en una determinada terminal, fija o móvil, mediante la inserción de su clave o código personal,

Por radio comunicación se entiende la telecomunicación realizada por medio de las ondas radio eléctricas, que son ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio, y que técnicamente consiste en superponer la información que se desea transmitir sobre la misma. Radiación es el flujo saliente de energía de una fuente cualquiera en forma de onda electromagnética, y emisión en la radiación de una estación transmisora radio eléctrica.

En el transmisor se genera la onda portadora que es modulada por la información; en el receptor se extrae esta a partir de la señal recibida. Junto a estos dos elementos básicos se necesitan otros como "antenas" para acoplamiento de los equipos al medio de propagación. En los sistemas de radio comunicación, la calidad de la comunicación viene limitada por las interferencias y por el ruido, que no siempre son posibles de evitar ya que la amplificación de la señal afecta a las señales útiles como a las que no lo son.

Un aspecto importantísimo a contemplar al establecer un sistema de radio comunicación es la banda de frecuencias a utilizar o banda asignada, que se define como la banda de frecuencias en

el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada; la anchura de esta banda es igual a la anchura de la banda necesaria más el doble del valor absoluto de la tolerancia de la frecuencia. La frecuencia de la estación coincide con el centro de la banda asignada. Donde la clase de emisión es el conjunto de características que definen una emisión, tales como el tipo de modulación empleado, naturaleza de la señal portadora, potencia de la señal, tipo de modulación que se envía, aplicación a que se destina, etc.

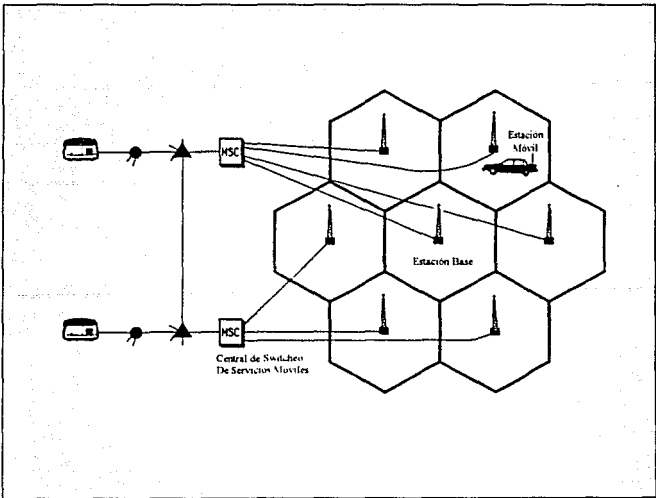


Figura II.4.1.- Estructura de la Red Celular.

La interconexión de la Red de Telefonía Celular consiste básicamente de una o varias MSC (Mobile Services Switching Center), Estaciones Radiobases, RB y estaciones móviles (Abonados). La red es diseñada modularmente por lo cual puede ser adaptada para la capacidad requerida adicionando centrales celulares MS's y Estaciones Radiobases, Canales de radio y el Equipo de Transmisión necesario para las necesidades, la estructura de la red se muestra en la figura II.4.1.

La central celular constituye la interfase de la red celular a la red de telefonía pública la cual puede ser local, de tránsito internacional a diferentes niveles.

La interconexión entre troncales celulares es similar a la utilizada en la red telefónica pública dado que básicamente se utiliza ésta. La interconexión con los sitios celulares está dada básicamente por la conexión de cables físicos o por enlaces de microondas en donde la duplicación de cualquiera de estos es necesaria para dar seguridad y exactitud. Esta trayectoria proporciona la comunicación de voz, ya que cada troncal está conectada físicamente a un radio de voz por lo cual el número de troncales es decidido basado en el tráfico y en la probabilidad de bloqueo (grado de servicio) requerido.

II.4.1.- TEORÍA DE LOS SISTEMAS CELULARES.

Al considerar un móvil desplazándose dentro del área de cobertura de una red, hay que tener en cuenta que si el desplazamiento es grande no se le puede dar el servicio mediante una sola estación, sino que se requieran varias, con diferentes zonas de cobertura, y de tal manera que pueda el móvil ser atendido por la más próxima, que será además la que proporcione una mejor señal.

Los sistemas celulares se basan en subdividir la zona de cobertura pretendida en zonas más pequeñas, o celdas, a las que se les asigna una estación base multicanal con cierto número de frecuencias o canales. Puesto que al pasar el móvil de una a otra celda cambia la estación base de que depende, el juego de frecuencia puede ser vuelto a utilizar sistemáticamente siempre y cuando

se asigne a otra (celda cocanal) situada fuera de su ámbito de influencia. La distancia entre ellas se denomina distancia cocanal o de re utilización, y debe ser tal que produzca una interferencia admisible por el sistema.

Los sistemas celulares se articulan sobre redes de emisores situados en el centro de las células, obteniéndose la zona de cobertura mediante la translación iterativa de una configuración básica de celdas. El radio de la celda se determina en función del tráfico previsto, número de usuarios y tiempo de las llamadas, de él depende la mayor o menor cobertura de la estación base. A la hora de planificar un sistema de telefonía móvil celular hay que tener en consideración los siguientes factores.

Geométricos: Área de la superficie a cubrir, área de un grupo y de una celda, radio de cobertura y distancia de re utilización.

Radio eléctricos: Anchura de banda disponible, separación y número de canales (totales y por celda), y relación de protección de R.F.

Tráfico: Tráfico ofrecido y cursado (por canal, por celda y por móvil), pudiéndose expresar como densidad.

Dimensionamiento: Número total de móviles en la zona, densidad de móviles, número de celdas por grupo y por zona, y números de grupos por zona.

El número de canales por celda, para el caso de una distribución uniforme, es igual al total de canales disponibles dividido por el de celdas por grupo; cada estación base correspondiente a una única celda deberá dotarse con este número, en cambio los móviles deberán poder sintonizar con los canales disponibles para efectuar comunicaciones desde cualquier punto. El número de canales disponibles en la zona será tan grande como se quiera, basta para ello hacer celdas más pequeñas o disminuir el de celdas por grupo.

Al disminuir la superficie de cada celda, manteniendo fijos los demás parámetros, se aprecia cómo aumenta el número de móviles a los que se puede dar servicio; así aumenta consecutivamente el tráfico total soportado. Esto constituye el principio básico de los sistemas celulares.

La zona de cobertura está formada por un conjunto de celdas que no se solapan entre sí; el móvil, al pasar de una a otra, cambia de estación base. con los métodos geométricos se trata de estudiar la asignación sistemática de canales a las celdas, según distribuciones lineales de canales, tratando de resolver la forma más conveniente para las celdas, la estructura geométrica del grupo y el análisis de interferencias y determinación de parámetros básicos de la geometría celular en relación con la asignación de canales.

A la hora de realizar el estudio hay que suponer todos los transmisores de características idénticas, y las mismas condiciones de propagación, ello conduce a esquemas regulares de disposición de canales, basados en celdas homogéneas de igual tamaño y forma.

Si tenemos en cuenta que cada estación base utiliza una antena omnidireccional, la zona de cobertura sería un círculo, pero esta estructura circular o no cubre el plano o produce solapes, por lo que exigen formas poligonales, las tres posibles son el triángulo, el cuadrado o el hexágono, esta última es la que para un radio fijo de cobertura proporciona la mayor superficie de celda (nombre dado por la similitud con las celdillas de un panal) y, consecuentemente es menor su número para la cobertura de la zona. De ahí que los estudios teóricos de sistemas celulares se basen en estructuras hexagonales para la planificación de emisiones y se utilicen en la práctica antenas direccionales, como se muestra en la figura II.4.1.1. Así pues la forma real de las celdas no es estática, sino dinámica, la define el propio receptor que se engancha a una u otra estación base. Podemos definir la celda práctica como la zona dentro de la cual es más probable elegir esa estación base que cualquier otra.

Teniendo en cuenta que la evolución es una característica primordial de los sistemas celulares, ya que debido a la evolución de la demanda crecerán en capacidad y en tecnología, en el momento de su diseño se tendrán en consideración este hecho, partiendo de un primer esquema, con pocas celdas de gran tamaño, y efectuando la expansión por subdivisión de éstas. para que la transición sea gradual y no se produzca un exceso en canales y equipos, se aplica el concepto de recubrimiento que consiste en añadir celdas solamente dentro de la zona de servicio requerida. En

consecuencia, la subdivisión celular no suele ser homogénea (coexistencia de celdas de diferentes tamaños) como tampoco lo es la densidad de tráfico.

Sobre los cambios de celda en el transcurso de las comunicaciones se notará que la velocidad media de las personas, cuando se desplazan caminando (dentro de la oficina, en la vía pública o en el hogar), es pequeña (quizá pueda decir muy pequeña) y ello reduce la probabilidad de que se produzcan tales cambios. No obstante la posibilidad existe y conviene que los sistemas que cubran los escenarios aquí tratados prevean un mecanismo de traspaso de la comunicación entre estaciones.

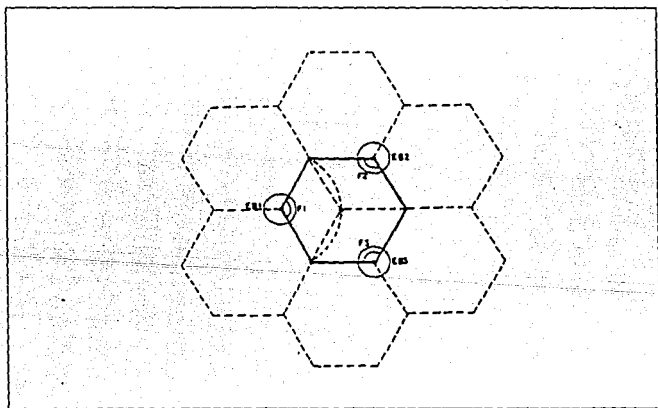


Figura II.4.1.1.- Subdivisión de una celda hexagonal en tres sectores, atendidos por estaciones Radiobase con apertura de antenas de 120°.

Además hay que considerar ahora un factor adicional que, aunque es subjetivo, resulta muy importante y tiene su raíz en el hecho de que se trata de dar un servicio masivo es decir,

usado por la mayoría de las personas, no es pues un servicio cuyo disfrute constituya un signo extremo de una posición social superior (al contrario de lo que todavía ocurre hoy con los teléfonos de coche). Por ello, una imperfección en su funcionamiento como, por ejemplo, los ruidos y recortes de la señal asociada a los trasposos entre estaciones base sería perceptible por todo el mundo y repercutiría en quejas que, dada la cantidad de usuarios (muy superior a la masa crítica necesaria), crecerían exponencialmente respondiendo a un modelo. En cambio, los propietarios actuales de teléfonos de coche no se quejan demasiado, hoy por hoy, de las deficiencias ajenas al trasposo de las llamadas entre celdas, probablemente ello se debe a que son pocos y el prestigio social que les acarrea la disponibilidad de un teléfono, relativice, tendiendo a minimizar, la importancia de la penetración.

II.4.2.- TELEFONIA MOVIL AUTOMATICA.

El establecimiento de redes para comunicaciones móviles se inició ya hace unos años, pero su uso se restringía a ciertos servicios de carácter público como el servicio de policía, bomberos, ambulancias, etc. Estas redes, de uso privado, no tenían conexión a la red telefónica básica, por lo que cada entidad tenía que montar su propia infraestructura, posteriormente su uso se va extendiendo a otros servicios con lo que empieza a ser interesante y rentable disponer de una red amplia, con una infraestructura común, que pueda dar servicio a flotas o a todo el que lo requiera, conforme a un estándar. Una red o servicio de este tipo, cuyos usuarios son individuales, es lo que se denomina Telefonía Móvil Automática o TMA.

En los sistemas avanzados de TMA es necesario manejar un gran número de abonados móviles dispersos en una amplia zona, esto supone abordar una serie de problemas técnicos y administrativos como control, localización, transmisión y facturación, y mantener al mismo tiempo una alta eficacia en la utilización del espectro radio eléctrico al mismo tiempo.

Control : Conmutación automática de las comunicaciones y su continuidad, con selección automática de canales.

Localización : Radio búsqueda y localización de los móviles antes de proceder a establecer una comunicación.

Transmisión : Selección automática de las estaciones para conseguir una calidad adecuada durante la comunicación.

Facturación : En caso de movimiento por diversos países son necesarios acuerdos mutuos para transferir entre las diversas Administraciones los costos que se producen.

Según la definición que del servicio móvil hace la Unión Internacional de Telecomunicaciones, se puede considerar como una comunicación y estaciones terrestres, distinguiendo por medios terrestres exclusivamente o por satélite.

- Servicio móvil terrestre: Clasificado por la banda de frecuencias utilizada, el tipo de canal radio eléctrico (Simplex o Duplex) y el tipo de sistemas de control (local o remoto).

Dentro de las bandas VHF - 70 y 150 MHz Y UHF - 450 y 900 MHz, donde los elementos que lo componen son:

- * Estación base: Estación de radio fija explotada directamente desde una unidad de control situada en un punto de control, local o remoto, especificado.
- * Estación de control: Estación fija cuyas transmisiones se utilizan para controlar automáticamente las emisiones o el funcionamiento de otra estación de radio base o receptora en un emplazamiento especificado.
- * Estación repetidora: Estación fija que transmite las señales recibidas permitiendo una cobertura determinada del sistema.
- * Estaciones móviles: Son estaciones radio eléctricas previstas para su utilización en un vehículo en movimiento, debido a su portabilidad pueden ser también fuera del vehículo al que están asociadas.

Las bandas de frecuencias empleadas son las ya comentadas, y la modulación es en frecuencia o en fase con una excursión de frecuencia en función de la anchura de banda, la cual a su vez depende de la separación entre canales. Para estas bandas la distancia de cobertura, en terrenos no muy accidentados, coincide sensiblemente con el alcance óptico desde la antena

transmisora, por lo que es conveniente, si se desea una gran cobertura, instalarlas en puntos elevados, y que además sea de una gran altura. una vez que se sobrepasa el límite de visión óptica aún es posible establecer una comunicación por Difracción si la potencia del emisor es elevada, por esta razón, puede ser posible algunas veces establecer una comunicación Radiobase - móvil y no al contrario, ya que la potencia de la estación móvil es mucho menor.

Superada la zona de alcance efectivo ya no es posible establecer una comunicación útil, pero si en cambio se pueden producir interferencias con otras celdas. Por esta razón un juego de frecuencias sólo podrá ser re utilizado en celdas que se encuentren fuera de estas zonas de interferencia no admisibles.

II.4.3.- TELEFONIA MOVIL AUTOMATICA (TMA) CONEXION A LA RED PUBLICA.

Este servicio puede ser considerado como una extensión del servicio básico telefónico, ya que su finalidad es proporcionar idénticos servicios al abonado que se encuentra desplazándose en su automóvil, mediante el teléfono instalado en él mismo. Por consiguiente, el abonado TMA puede efectuar y recibir llamadas, desde su vehículo, a o desde cualquier abonado fijo o móvil, nacional o internacional dentro de la zona de cobertura y capacidad de tráfico, utilizado un número limitado de frecuencias, lo cual es posible sólo gracias al empleo de una estructura celular, la normalización es el paso más importante para conseguir una difusión lo más amplia nacional, internacional o intercontinental posible del sistema

Los objetivos fundamentales que pretende este sistema son:

- Gran capacidad de abonados.
- Amplia zona de cobertura.
- Utilización eficaz del espectro.
- Calidad telefónica aceptable.
- Conmutación automática de radio canales

- Capacidad de crecimiento.
- Costo adecuado al servicio.

El servicio de TMA basado en el establecimiento de células múltiples y conocido popularmente como telefonía para coches posee una serie de riesgos descriptivos que pueden formularse de la siguiente manera:

* Los teléfonos en vehículos enlazan vía radio con unas estaciones de radio (Estaciones base) emplazadas en lugares dominantes (Edificios de cierta altura, montañas, etc.) y espaciadas a lo largo y ancho del territorio al que se quiere ofrecer el servicio. Los teléfonos de vehículos se sintonizan automáticamente en cada momento a la estación base de la que están más cerca de modo que, al desplazarse, irán saltando de una a otra estación. Estas estaciones base están a su vez conectados a la red telefónica general haciendo posible la comunicación entre los vehículos y el resto de las líneas de la red.

* Para ofrecer el servicio en una determinada región (nación, provincia, etc.) habrá que instalar una cierta cantidad de estaciones base repartidas estratégicamente, de forma que el territorio en cuestión quede bien cubierto, dado que cuando un vehículo se mueve entre dos estaciones, se sintoniza con aquella de la que recibe una mejor señal (dichas estaciones están transmitiendo continuamente una señal de referencia), cabría decir que cada estación mantiene con sus adyacentes un orden para establecer su área de influencia. El territorio puede dividirse en un conjunto de zonas de cobertura o "celdas". De ahí que se aluda a estas disposiciones como redes celulares.

* El número de estaciones necesario para cubrir un determinado territorio viene dado, no sólo por la extensión y circunstancias orográficas del mismo, sino también por el número de teléfonos de coches a atender. En efecto, el número de comunicaciones que una estación puede soportar simultáneamente no es ilimitado por lo que, en una porción del territorio se espera una densidad de vehículos más alta (por ejemplo, en áreas urbanas) será preciso establecer allí un mayor número de estaciones a fin de que los vehículos se repartan entre ellas.

* Los sistemas TMA saben seguir a los vehiculos dentro de la red. Es decir tienen información puntual sobre la posición aproximada de los vehiculos dentro del territorio atendido de modo que, cuando alguien hace una llamada a un móvil, conocen en cada momento hacia qué estación base deben dirigirla para establecer comunicación con el vehiculo.

* Esta capacidad de seguimiento de la posición de los vehiculos puede ser aludida bajo la denominación de Roaming (Visitante) ello da la posibilidad al usuario de moverse a voluntad por la red. Además, facilita la facturación en un punto único, independiente del punto en el que se haya originado-recibido la llamada, ya que esta información se almacena en una base de datos para su posterior tratamiento, existiendo, por ejemplo en los sistemas dos tipos de registros, el denominado HLR (Home Location Register) y el VLR (Visitor Location Register).

* Al ir orientados al servicio de vehiculos que, como los automóviles, pueden recorrer grandes distancias (varios centenares, e incluso miles de Km.), estos sistemas deben ser capaces de cubrir porciones de territorio realmente extensas, garantizando para el móvil la posibilidad de comunicarse en cualquier punto del mismo siempre y cuando se halle dentro del área que se afirme atender. En este sentido se dice que son sistemas de cobertura continua, que deben de procurar no dejar fuera de cobertura ninguna porción de la zona en la que se ofrezca el servicio, por difícil que resulte su orografía. Es preciso pues conjugar a este respecto dos circunstancias que tienden a contraponerse, la amplitud de la áreas a cubrir aconseja una parcelación en celdas lo más amplias posible (Siempre teniendo en cuenta la necesidad de dar un grado de servicio adecuado a la densidad de móviles predicible en esa porción del territorio) a fin de reducir las inversiones en infraestructura. Pero, al mismo tiempo, no pueden olvidarse las exigencias de continuidad de cobertura, lo que a veces lleva a células más reducidas

* Si un vehiculo en comunicación está viajando es posible que, durante el transcurso de dicha comunicación pase de la zona de influencia de una estación a la de otra es decir, que cambie de celda con lo que, en principio, la llamada podría perderse o, en cualquier caso, la calidad de la señal de radio se degradaría. Los sistemas celulares de TMA prevén a este respecto un mecanismo automático de traspaso de la comunicación de una a otra estación base considerando los

problemas anteriormente mencionados. También aquí es frecuente el empleo de la expresión "Hand off" para aludir esta facilidad, expresión que podría traducirse como "traspaso de llamadas entre celdas".

II.4.4.- SISTEMAS DE AMPLIOS HORIZONTES E INTENSIVOS.

Las ventajas típicas de los sistemas móviles celulares con multiplexación en el tiempo (TDM) frente a aquellos con multiplexación en frecuencia (FDM) se encuentra en que aprovechan el espectro disponible, en el sentido de que, por KHz que ocupan, soportan una mayor cantidad de tráfico y, por tanto, un mayor número de móviles por Km^2 dentro de cada celda.

Ya se ha indicado anteriormente que la cantidad de comunicaciones simultáneas que puede atender una estación base es limitada. Lo que equivale a decir que, conocida la ocupación media de los teléfonos de los vehículos, el número de móviles dentro de cada celda no debe de superar un determinado límite para mantener el grado de servicio dentro de una calidad aceptable. Así pues, como en la aplicación de TMA las celdas tienden a ser grandes, ello redundará en que la densidad de usuarios (No. de móviles/ Km^2) deba ser relativamente baja. Sistemas multiplexados en frecuencia como los actuales NMT y TACS no son en absoluto válidos para atender a la densidad de usuarios que se puede dar en las áreas urbanas.

Todo lo anterior puede resumirse diciendo que, dada la extensión del escenario en el que hay que contemplar el servicio de TMA, el mismo deberá presentarse por medio de sistemas para amplios horizontes, también denominados de amplia extensión. Es decir que proporcionen un buen rendimiento en escenarios con celdas grandes y que admitan que los móviles puedan desplazarse a velocidades relativamente elevadas, por lo cual no es en cambio necesario (y, por tanto, resulta fuera de lugar introducir dicha característica si con ello se introduce un encarecimiento ilógico de los productos) que las técnicas de radio adoptadas por esos sistemas sean susceptibles de soportar grandes densidades de usuarios.

Considerando los escenarios de alta densidad de usuarios, dentro de estos pueden distinguirse tres distintas aplicaciones:

- a) En entornos de oficinas (aplicaciones empresariales)
- b) En vías públicas y otras áreas abiertas al público (aeropuertos y estaciones ferroviarias, grandes almacenes, etc.)
- c) En el hogar (aplicaciones residenciales)

Por lo cual se debe de analizar hasta qué valores puede llegar esa densidad y ello conduce a una doble conclusión. Su capacidad, en cuanto a la densidad de usuarios soportable, debe ser la mayor posible, aún así, y además de adoptar técnicas de radio más potentes que las actuales, es preciso proceder a una parcelación en celdas muy pequeñas al objeto de impedir que un excesivo número de usuarios por estación se traduzca en una degradación notable del grado de servicio. En los escenarios de mayor densidad, como los de oficinas, resultará necesario una disposición tridimensional (una aplicación de capas de celdas, a razón de una capa por planta) en la que la separación media entre estaciones adyacentes de una misma capa probablemente se sitúe en unos 75 m (el radio de las celdas estará entre 30 y los 50 m).

En resumen el sentido de los sistemas digitales, cabría calificarlos como sistemas intensivos por contar con los denominados (NMT y TACS) con cobertura discontinua, es decir, aparecerán islas de dispositivos digitales de unos Km^2 (o decenas de Km^2) de extensión separadas por zonas no cubiertas por estaciones Radiobase. En cuanto a su comercialización parece lógico que los mismos se apliquen en el sector de las telecomunicaciones de empresa dado que es la que apreciará más en un principio sus potenciales ventajas y ofrecerá más y mejores oportunidades de negocio a las compañías operadoras de tal servicio.

El concepto de telefonía móvil personal implica, por un lado, la identificación personal del usuario mediante un número propio, independiente de su localización espacial; por otro lado, la disponibilidad de terminales portátiles de bajo consumo y costo, de forma que cada usuario pueda llevarlo consigo en todo momento.

El servicio de telefonía móvil personal debe ser considerado en un contexto amplio, ya que las actuales redes existentes han de desarrollar su capacidad para proporcionarlo; facilitando a sus usuarios una cierta movilidad dentro de la red, al permitir que una terminal telefónica pueda ser identificado como asignado a cierto usuario mediante la introducción de su clave personal. Esto, unido a la autorización de la base de datos interconectada, (propia de las redes inteligentes) puede proporcionar un servicio de telefonía móvil personal mediante el complemento de estaciones base que, mediante la emisión radio eléctrica, establezca el enlace con la terminal portátil, cubriendo células de un kilómetro de radio en ciudades y de unos diez en las zonas rurales. Además de estas macrocélulas, será necesario establecer otras mucho más pequeñas microcélulas, pero capaces de atender una mayor cantidad de móviles, para dar servicio a zonas de muy alta densidad, como pueden ser el interior de un edificio de oficinas o comercios.

En este tipo de comunicación PCN es necesario que el usuario pueda no sólo recibir llamadas, sino realizarlas; al mismo tiempo, y ello es posible debido a la utilización de redes inteligentes, el usuario puede tener el control de la comunicación, conociendo quién le llama y aceptar o no la llamada.

Otra posibilidad existente sería la creación y desarrollo de redes paralelas a la red telefónica actual, dotadas con sus propios sistemas de numeración y disponiendo de prestaciones específicas de valor añadido. Esto parece mucho más complicado y costoso, por lo que es de prever que no suceda, al menos con carácter general; al final de la presente década la tendencia es la evolución, o lo que se ha denominado anteriormente Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles o (UMTS), capaz de ofrecer un sistema de comunicaciones personales general y global.

Cada vez es más comúnmente aceptada la idea de que las comunicaciones constituyen una herramienta estratégica para la empresa, y que tanto la calidad como la versatilidad del sistema afectan directamente a su rentabilidad. Desde este punto de vista la escasa movilidad que aportan los sistemas tradicionales se empieza a considerar cada vez más como una limitación importante a la eficiencia. Ello ha hecho que uno de los desarrollos más importantes dentro del campo de las

telecomunicaciones, durante la década pasada, haya sido la introducción a gran escala de las redes celulares de telefonía móvil.

La utilización de la tecnología avanzada de radio celular para dar acceso móvil a la red telefónica pública revela lo que puede considerarse como una nueva era en las comunicaciones, en la que los usuarios ya no dependen para sus comunicaciones de la servidumbre que impone la propia localización de la terminal.

Entre los factores que contribuyen al crecimiento de los servicios de telefonía móvil podemos enumerar su capacidad para satisfacer las necesidades de comunicaciones tanto de tipo personal como empresarial, el avance tecnológico que posibilita la construcción de cada vez más potentes y reducidos equipos y, por último, la capacidad adquisitiva que facilita la obtención de los mismos.

El soporte de diferentes y variados servicios, la integración de voz y datos (RDI), la utilización de bandas de frecuencias altas con gran capacidad de canales, y su capacidad para extenderse universalmente en forma rápida y no muy costosa, hacen que los sistemas de comunicaciones móviles sean el medio idóneo para establecer una mejor comunicación entre los seres humanos, cubriendo al mismo tiempo la demanda del mercado en tal sentido.

CAPITULO III

PLANEACION, DIMENSIONAMIENTO Y CRECIMIENTO DEL SISTEMA CELULAR

III.1.- ESTUDIO DE MERCADO POTENCIAL

El objetivo del estudio de mercado es el de *determinar las características cuantitativas y cualitativas del mercado potencial y actual de la telefonía celular en un lugar cualquiera, ciudad, pueblo, municipio, etc., con el fin de establecer los principales puntos de comercialización y los mejores canales de consumo y distribución en esa zona.*

Para lograr el objetivo general, se desprende el planteamiento de los siguientes objetivos particulares:

- 1.- Determinar el grado de desarrollo y/o conocimiento de la telefonía celular en la zona, ciudad o estado.
- 2.- Determinar cuales son los medios de comunicación regionales contra quienes compete la telefonía celular.
- 3.- Determinar la aceptación cultural de la telefonía celular.
- 4.- Determinar de acuerdo a la idiosincracia de la población estudiada, cuales son los mejores canales de consumo y cómo se da el proceso de decisión de compra : características y/o valores que la gente busca, hábitos de consumo, etc.
- 5.- Determinar las principales áreas donde se desplazan los usuarios potenciales y actuales a nivel corporativo y de consumo: parques industriales, centros de trabajo , centros recreativos , localidades aledañas , carreteras más transitadas, etc.
- 6.- Determinar cuantitativa y cualitativamente cuales serían los mejores puntos de venta en las diferentes regiones o ciudades.
- 7.- Conocer cual es la imagen y el conocimiento de *la empresa que brinda servicio de telefonía celular* (sea cual sea la marca), entre el mercado potencial y el de la competencia, en una región dada; así como la opinión

del servicio de la compañía que ya tiene cobertura en esa ciudad.

- 8.- Conocer las actividades comerciales y de negocios preponderantes de la región.
- 9.- Cuantificar el mercado comercial de acuerdo a los índices poblacionales y socioeconómicos de las clases económicamente aptas para adquirir el servicio de telefonía celular de una marca cualquiera.

III.1.1.-DIAGNOSTICO DE LA REGION, ZONA, CIUDAD O ESTADO.

Para poder visualizar más clara y ampliamente la labor realizada durante el estudio de mercado, vamos a suponer por ejemplo, que deseamos instalar el servicio de telefonía celular en dos de las ciudades más importantes del estado de Hidalgo; como son Pachuca y Tulancingo.

Inicialmente se realiza un diagnóstico de las condiciones socioeconómicas del Estado:

Hidalgo, comparado con el resto de los estados del país, se encuentra entre los últimos lugares, con un nivel de pobreza y marginación parecido al de Guerrero, Chiapas, Tlaxcala y Oaxaca.

En general, la población tiene condiciones de vida que se encuentran por de bajo del nivel nacional, en lo que respecta a niveles de *ingreso, empleo, vivienda, salud, alimentación y educación.*

Un indicador económico importante es el rezago de la participación del comercio del Estado en la economía nacional. El PIB del Estado de Hidalgo apenas participa con el 1.5% del total del país, muy por debajo del promedio nacional.

Las actividades económicas que sobresalen por su contribución al PIB Estatal son: la industria manufacturera, el sector agropecuario y forestal, servicios y comercio, en este orden de importancia.

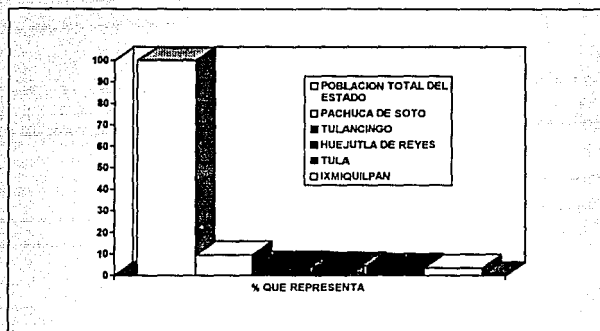
El desarrollo del estado está marcado hacia el SUR de la entidad, siendo los municipios con mejores condiciones de vida en orden descendiente: Pachuca, Tepeapulco, Tulancingo, Apan y tula.

El desarrollo de los municipios se marca geográficamente en el sentido sur-centro-norte, con la zona más rezagada al norte, la intermedia al centro y la de mayor desarrollo al sur.

Para determinar la importancia de las ciudades del Estado como mercado potencial se considera: El número de habitantes y el ingreso de la población así como la proporción de la *población económicamente activa* que puede adquirir el servicio de telefonía celular, para lo cual se analizan los datos mostrados en las siguientes tablas.

	POBLACION	% QUE REPRESENTA DEL ESTADO
POBLACION TOTAL DEL ESTADO	1,888,366	
PACHUCA DE SOTO	180,000	9.53
TULANCINGO	92,570	4.90
HUEJUTLA DE REYES	86,028	4.56
TULA	73,713	3.90
IXMIGUILPAN	65,934	3.49

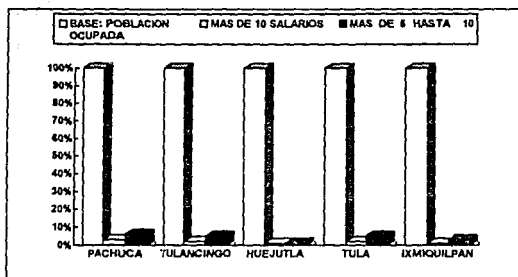
Tabla III.1.1.1.- Ciudades principales de Hidalgo por número de habitantes. Fuente: Censo XI 1990.



Gráfica 3I1.1.1.- Habitantes de las principales ciudades de Hidalgo.

	PACHUCA	TULANCINGO	HUEJUTLA	TULA	IXMIQUILPAN
BASE:	58,569	27,236	22,174	18,973	17,134
POBALCION OCUPADA	100%	100%	100%	100%	100%
MAS DE 10 SALARIOS	1,502 3%	520 2%	124 1%	352 2%	185 1%
MAS DE 5 HASTA 10	3,666 6%	1,310 5%	327 1%	977 5%	469 3%

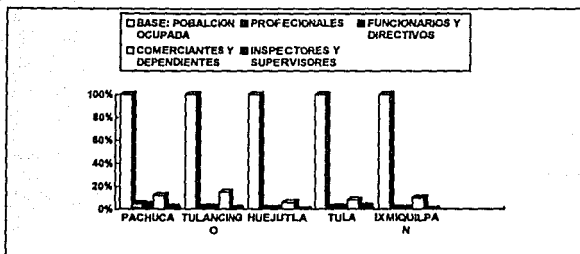
Tabla 3I1.1.2.- Nivel de ingresos de las principales ciudades de Hidalgo. Tomando como base el salario mínimo. Fuente: PROCESADAT.



Gráfica III.1.1.2.- Nivel de ingresos de las principales ciudades de Hidalgo. Base: salario mínimo.

	PACHUCA	TULANCINGO	HUEJUTLA	TULA	IXMIQUILPAN
BASE:	58,569	27,236	22,174	18,973	17,134
POBALCION OCUPADA	100%	100%	100%	100%	100%
PROFECIONALES	2,867 5%	641 2%	160 1%	444 2%	207 1%
FUNCIÓNARIOS Y DIRECTIVOS	2,529 4%	628 2%	188 1%	293 2%	199 1%
COMERCIANTES Y DEPENDIENTES	6,847 12%	4,009 15%	1,294 6%	1,475 8%	1,639 10%
INSPECTORES Y SUPERVISORES	1,185 2%	369 1%	48 0%	507 3%	77 0%

Tabla III.1.1.3.- Nivel de ingresos de las principales ciudades de Hidalgo; población económicamente activa. Mercado potencial. Fuente: PROCESADAT.

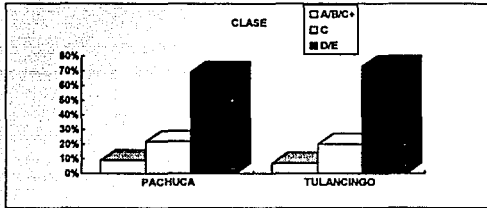


Gráfica III.1.1.3.- Nivel de ingresos de las principales ciudades de Hidalgo; población económicamente activa.

	TOTAL	TOTAL	TOTAL
CLASE	A/B/C ⁺	C	D/E
PACHUCA	9%	22%	69%
TULANCINGO	7%	20%	73%

- Clase:
- A. Muy alta.
 - B. Alta.
 - C⁺. Media alta.
 - C. Media.
 - D. Baja.
 - E. Popular.

Tabla III.1.1.4.- Porcentaje de niveles socioeconómicos. Fuente: WILSA.



Gráfica III.1.1.4.- Porcentaje de niveles socioeconómicos, Pachuca y Tulancingo.

III.1.2.- ANALISIS DE VARIABLES.

Para poder realizar esta etapa del estudio de mercado, primeramente se elabora un cuestionario, anexo al final de este subtema, que se aplicará a la población de cada ciudad, que considera los siguientes puntos o variables:

- 1.- Medios de comunicación.
- 2.- Puntos geográficos de mayor atracción.
- 3.- Rutas carreteras usadas con mayor frecuencia.
- 4.- Usuarios de Telefonía Celular.
- 5.- Valores y hábitos de uso.
- 6.- Demandas técnicas.
- 7.- Conocimiento de marca y opinión de servicio.
- 8.- Opinión sobre costos y actitudes de compra.
- 9.- Opinión sobre puntos de venta.

Posteriormente se realiza el análisis de las respuestas de la población al cuestionario, del cual asumiremos ya se ha llevado a cabo y que el número de entrevistados durante este estudio es de 98.

1.- MEDIOS DE COMUNICACION. De las respuestas al cuestionario aplicado en ambas Ciudades, indica que los medios de comunicación más utilizados son en el siguiente orden:

El teléfono tradicional.

El fax.

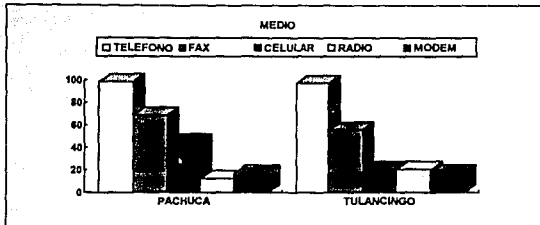
La radio.

El modem.

Como se muestra en la Tabla III.1.2.1, los medios más utilizados en Pachuca son el teléfono Tradicional, el fax y el teléfono celular, y en menor medida la radio y el modem; mientras que en Tulancingo, el teléfono tradicional y el fax están en los primeros lugares.

MEDIO	PACHUCA	TULANCINGO
	(%)	(%)
TELEFONO	98.4	97.1
FAX	68.8	55.9
CELULAR	45.3	20.6
RADIO	12.5	20.6
MODEM	17.2	17.6

Tabla III.1.2.1.- Medios de comunicación electrónicos más utilizados. Investigación de campo.



Gráfica III.1.2.1.- Medios de comunicación electrónica más utilizados.

La radio en Tulancingo tiene un uso 8% mayor que en Pachuca, quizá porque el teléfono tradicional no tiene suficiente oferta en las áreas rurales. Es importante mencionar que a pesar de no existir en Tulancingo servicio de telefonía celular, se observa que un 20.6% de los entrevistados son usuarios, ya que les es útil en sus frecuentes viajes a la Ciudad de México y otras partes de la república.

2.-PUNTOS GEOGRAFICOS DE MAYOR ATRACCION. Como era de esperarse, el punto de atracción más importante es la Capital de la República. 84% de los entrevistados manifestaron desplazarse a la Ciudad de México por motivos de trabajo. A nivel regional, las áreas más visitadas son:

PACHUCA

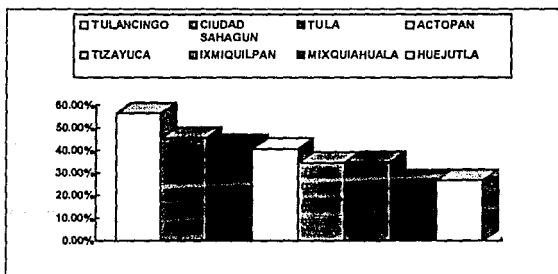
POBLACION	PORCENTAJE
TULANCINGO	56.3 %
CIUDAD SAHAGUN	45.3 %

Tabla III.1.2.2.- Puntos Geográficos de mayor atracción a nivel regional. Pachuca.

Continúa

POBLACION	PORCENTAJE
TULA	42.2 %
ACTOPAN	40.6 %
TIZAYUCA	34.4 %
IXMIQUILPAN	34.6 %
MIXQUIAHUALA	26.6 %
HUEJUTLA	26.6 %

Tabla III.1.2.2.- Puntos Geográficos de mayor atracción a nivel regional. Pachuca.



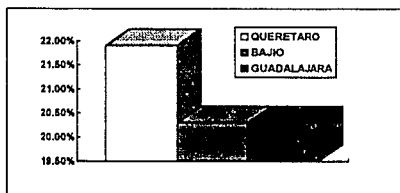
Gráfica III.1.2.2.- Puntos Geográficos de mayor atracción a nivel regional. Pachuca.

Este estudio nos confirma, que la vinculación de Pachuca con ciertas áreas de Puebla y Veracruz es significativa. Es importante mencionar que la mayor parte de los desplazamientos hacia Puebla se realizan por la ruta Ciudad Sahagun-Tlaxcala, y en menor medida por la carretera México-Puebla.

Hacia el occidente, los puntos de atracción son:

POBLACION	PORCENTAJE
QUERETARO	21.9 %
BAJIO	20.3 %
GUADALAJARA	20.3 %

Tabla III.1.2.3.- Puntos de mayor atracción hacia el occidente. Pachuca.



Gráfica III.1.2.3.- Puntos de mayor atracción hacia el occidente. Pachuca.

Otros puntos de atracción, aunque de menor intensidad son:

POBLACION	PORCENTAJE
TOLUCA	10.9%
NUEVO LAREDO	9.4%
CUERNAVACA	9.4%
SAN LUIS POTOSI	7.8%
AGUASCALIENTES	7.8%

Tabla III.1.2.4.- Puntos geográficos de menor atracción en Pachuca

TULANCINGO

El 100% de los entrevistados manifestó desplazarse a las ciudades de México y Pachuca. Se observó una mayor vinculación con Puebla (50%) y con el norte de Veracruz (47.1%).

A nivel regional las áreas más frecuentadas desde Tulancingo son:

POBLACION	PORCENTAJE
CIUDAD SAHAGUN	23.5%
ACATLAN	14.7%
ACTOPAN	11.8%
HUEJUTAL	11.8%
IXMIQUILPAN	8.8%

Tabla III.1.2.5.- Puntos de mayor atracción a nivel regional. Tulancingo.

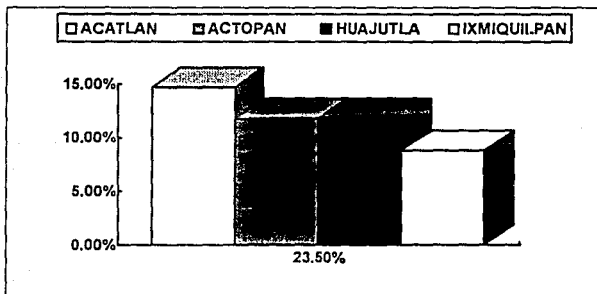
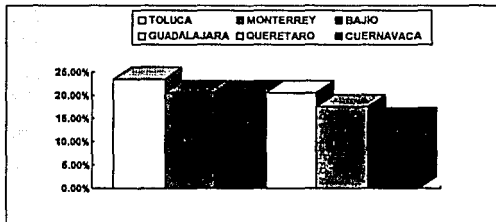


Tabla III.1.2.4.- Puntos de mayor atracción a nivel regional. Tulancingo.

Los puntos más visitados fuera de Hidalgo son:

POBLACION	PORCENTAJE
TOLUCA	23.5%
MONTERREY	20.6%
BAJO	20.6%
GUADALAJARA	20.6%
QUERETARO	17.6%
CUERNAVACA	14.7%

Tabla III.1.2.6.- Puntos más visitados fuera de Hidalgo.



Gráfica III.1.2.5.- Puntos más visitados fuera de Hidalgo.

El fenómeno que se observa y que podría considerarse evidente, es el que las ciudades donde se concentra la industria, el comercio y los servicios; y mientras más grandes sean estas, son el lugar de atracción de la población de ciudades más pequeñas y/o de menor importancia.

3.-RUTAS CARRETERAS UTILIZADAS CON MAYOR FRECUENCIA. Para los traslados hacia la Ciudad de México, Pachuca y Tulancingo, las carreteras más frecuentadas son:

PACHUCA-MEXICO
PACHUCA-TULANCINGO
TULANCINGO-PIRAMIDES-MEXICO

Para el estudio que nos ocupa, estas carreteras deben considerarse de igual importancia, ya que es en ellas donde la densidad de desplazamiento es mayor, tanto por los habitantes de las áreas locales, como por el tránsito procedente de Tampico y el norte de Veracruz.

La carretera que sigue en importancia es la que une a Pachuca y Tulancingo con la Ciudad de Puebla, por la vía Ciudad Sahagun-Tlaxcala. La vinculación económica entre Hidalgo y Puebla es muy importante, por ejemplo, en lo referente a la industria textil. La materia prima que surte gran parte de las maquiladoras establecidas en el área de Tulancingo, proviene de Puebla y parte del producto acabado regresa a Tlaxcala y la propia Puebla. Otro ejemplo de esta vinculación es el hecho de que en la regionalización de TELMEX y de algunas empresas bancarias, Puebla sea considerada cabecera de Pachuca.

Las Tablas siguientes, muestran el porcentaje de las carreteras utilizadas con mayor frecuencia por las poblaciones de Pachuca y Tulancingo.

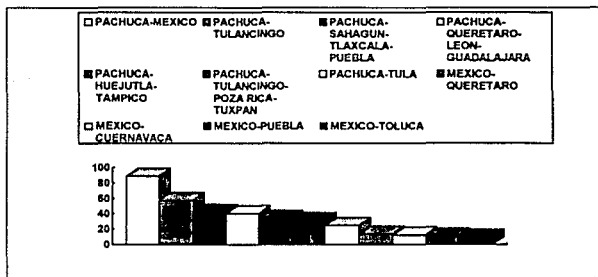
RUTAS	PORCENTAJE
PACHUCA-MEXICO	88.9 %

Tabla III.1.2.7.- Rutas carreteras usadas con mayor frecuencia por la población de PACHUCA. Investigación de Campo.

Continúa

PACHUCA-TULANCINGO	57.8 %
PACHUCA-SAHAGUN-TLAXCALA-PUEBLA	42.2 %
PACHUCA-QUERETARO-LEON-GUADALAJARA	40.6 %
PACHUCA-HUEJUTLA-TAMPICO	34.4 %
PACHUCA-TULANCINGO-POZA RICA-TUXPAN	31.3 %
PACHUCA-TULA	25.0 %
MEXICO-QUERETARO	14.1 %
MEXICO-CUERNAVACA	12.5 %
MEXICO-PUEBLA	10.9 %
MEXICO-TOLUCA	9.4 %

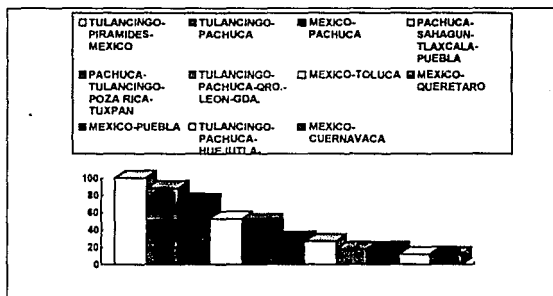
Tabla III.1.2.7.- Rutas carreteras usadas con mayor frecuencia por la población de PACHUCA. Investigación de Campo.



Gráfica III.1.2.6.- Rutas carreteras usadas con mayor frecuencia por la población de PACHUCA.

RUTAS	PORCENTAJE
TULANCINGO-PIRAMIDES-MEXICO	100.0 %
TULANCINGO-PACHUCA	88.2 %
MEXICO-PACHUCA	73.5 %
PACHUCA-SAHAGUN-TLAXCALA-PUEBLA	52.9 %
PACHUCA-TULANCINGO-POZA RICA-TUXPAN	50.0 %
TULANCINGO-PACHUCA-QRO.-LEON-GDA.	29.4 %
MEXICO-TOLUCA	26.5 %
MEXICO-QUERETARO	17.6 %
MEXICO-PUEBLA	17.6 %
TULANCINGO-PACHUCA-HUEJUTLA-TAMPICO	11.8 %
MEXICO-CUERNAVACA	11.8 %

Tabla III.1.2.8.- Rutas carreteras usadas con mayor frecuencia por la población de TULANCINGO. Investigación de Campo.



Gráfica III.2.2.7.- Rutas carreteras usadas con mayor frecuencia por la población de TULANCINGO.

La Tabla III.1.2.9, muestra la cifras oficiales del tránsito vehicular en el Estado de Hidalgo publicadas por la SCT.

TRAMO	RANGOSE DE VARIACION		LONG/EDO (Km)
	MIN	MAX	
MEXICO-PACHUCA (CUOTA)	--	13,800	40
PACHUCA TULANCINGO	3,560	12,400	45
TULANCINGO TUXPAN	5,876	10,840	31
PACHUCA-IXMI-PALMILLAS	4,660	9,463	82
MEXICO-PACHUCA-(LIBRE)	4,800	9,800	40
PACHUCA-SAHAGUN	3,180	7,960	45
VENTA CARPIO-SAHAGUN	2,560	4,280	32
LOS REYES-EL TEPHE	1,690	6,870	57
MEXICO-TULANCINGO	5,280	6,520	44
PACHUCA-TAMPICO	1,130	5,590	217
TEPEJI-TULA-TLAHUELILPA	3,490	4,330	32
CALPULALPAN-OCOTE-SAHAGUN	3,530	3,660	18

Tabla III.1.2.9.- Carreteras con mayor tránsito vehicular. tránsito diario promedio anual 1989.
Fuente: Datos viales 1990 SCT.

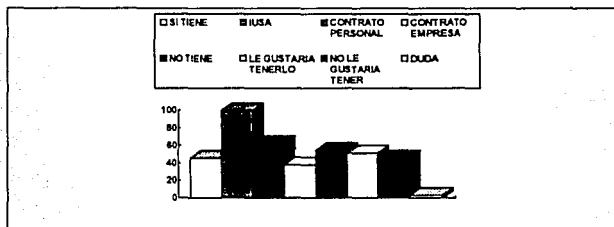
Al final del subcapítulo se anexan algunos mapas indicando las principales carreteras de Pachuca y Tulancingo con mayor tránsito vehicular.

4.- USUARIOS DE TELEFONIA CELULAR. De los entrevistados en Pachuca, el 45% son usuarios de IUSACELL. Del total que no son usuarios, 51.4% declaró que les gustaría tener el servicio.

En cuanto a Tulancingo que no cuenta con servicio de telefonía celular, se encontró que el 20.6% de los entrevistados son usuarios de TELCEL y de IUSA. Esto se debe a que la telefonía celular es útil porque el usuario tiene una alta frecuencia de desplazamiento y una alta intensidad de comunicación que no les es satisfecha por una sola marca. Las tablas III.1.2.10 y III.1.2.11 resumen los resultados obtenidos.

	VARIABLE	PACHUCA (%)
SI	TIENE	45.3
	IUSA	100.0
	CONTRATO PERSONAL	62.1
	CONTRATO EMPRESA	37.9
NO	TIENE	54.7
	LE GUSTARIA TENERLO	51.4
	NO LE GUSTARIA	45.7
	DUDA	2.9

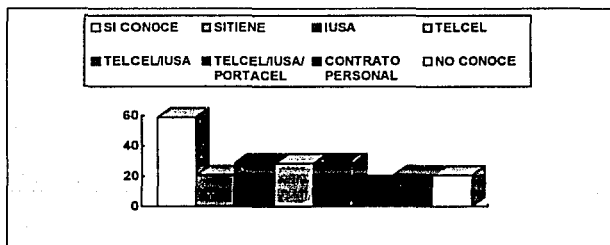
Tabla III.1.2.10.- Usuarios de telefonía celular en Pachuca. Investigación de Campo.



Gráfica III.1.2.8.- Usuarios de telefonía celular en Pachuca.

	VARIABLE	TULANCINGO (%)
SI	CONOCE	58.8
SI	TIENE	20.6
	IUSA	28.6
	TELCEL	28.6
	TELCEL/IUSA	28.6
	TELCEL/IUSA/PORTACEL	14.2
	CONTRATO PERSONAL	20.6
	NO CONOCE	20.6

Tabla III.1.2.11.- Usuarios de telefonía celular en Tulancingo. Investigación de Campo.



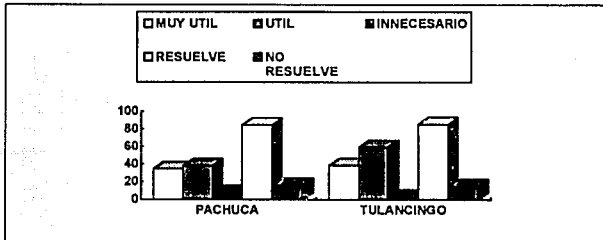
Gráfica III.1.2.9.- Usuarios de telefonía celular en Tulancingo

5.-VALORES Y HABITOS DE USO. Tanto en Tulancingo como en Pachuca la opiniones emitidas coinciden con el valor de uso que se le da al celular, muy útil o útil, sobre todo para el trabajo y para emergencias. Las tablas siguientes muestran las respuestas obtenidas.

VARIABLE	PACHUCA (%)	TULANCINGO (%)
MUY UTIL	34.4	38.2
UTIL	37.8	58.8
INNECESARIO	7.8	2.9
* RESUELVE	84.4	85.3
* NO RESUELVE	15.6	14.7

* Resuelve o nó el problema de comunicación.

Tabla III.1.2.12.- Valor de uso que se le atribuye a la telefonía celular. Investigación de campo.



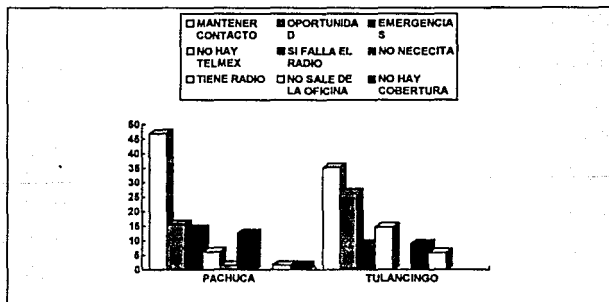
Gráfica III.1.2.10.- Valor de uso que se le atribuye a la telefonía celular.

VARIABLE	PACHUCA (%)	TULANCINGO (%)
ASUNTOS PERSONALES	23.4	17.6
EN OFICINA	56.3	73.5
PARA EMERGENCIAS	30.0	44.1

Tabla III.1.2.13.- Potencialidad de uso del celular. Investigación de campo.

VARIABLE	PACHUCA (%)	TULANCINGO (%)
MANTENER CONTACTO	46.8	35.2
OPORTUNIDAD	15.6	26.4
EMERGENCIAS	14.0	8.8
NO HAY TELMEX	6.2	14.7
SI FALLA EL RADIO	1.5	--
NO NECECITA	12.5	8.8
TIENE RADIO	--	5.8
NO SALE DE LA OFICINA	1.5	--
NO HAY COBERTURA	1.5	--

Tabla III.1.2.14.- Modalidad de uso del celular. Investigación de campo.



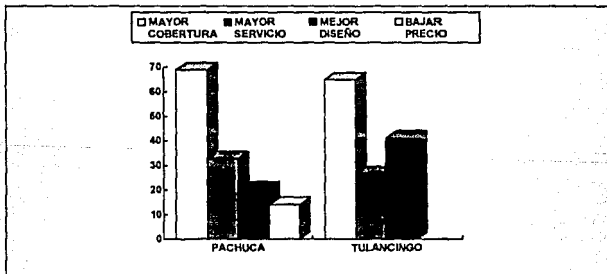
Gráfica III.1.2.11.- Modalidad de uso del celular.

6.- **DEMANDAS TECNICAS.** La mayor parte de los entrevistados, usuarios y no usuarios coinciden en la principal demanda por mayor cobertura. En segundo lugar, expresan la necesidad de mayor servicio, entendido esto como una mejor señal y mejor comunicación.

Esta variable se ilustra en la Tabla III.1.2.15.

VARIABLE	PACHUCA (%)	TULANCINGO (%)
MAYOR COBERTURA	68.8	64.7
MAYOR SERVICIO	32.8	26.5
MEJOR DISEÑO	20.4	41.2
BAJAR PRECIO	14.1	--

Tabla III.1.2.15.- Demandas técnicas. Investigación de campo.



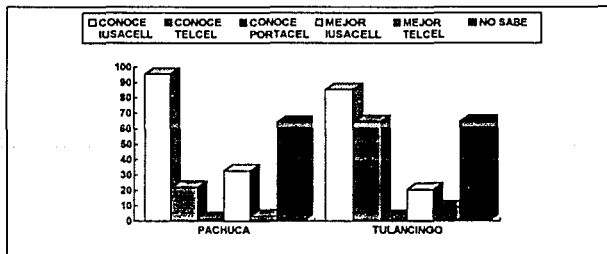
Gráfica III.1.2.12.- Demandas técnicas.

7.- CONOCIMIENTO DE MARCA Y OPINION DE SERVICIO. La Tabla

III.1.2.16, muestra los resultados obtenidos respecto a esta variable.

VARIABLE	PACHUCA (%)	TULANCINGO (%)
CONOCE IUSACELL	95.3	85.3
CONOCE TELCEL	21.9	64.7
CONOCE PORTACEL	1.6	2.9
MEJOR IUSACELL	32.8	20.6
MEJOR TELCEL	3.1	8.8
NO SABE	64.1	64.7

Tabla III.1.2.16.- Conocimiento de marca y opinión. Investigación de campo.

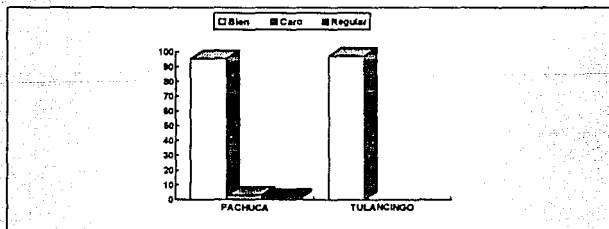


Gráfica III.1.2.13.- Conocimiento de marca y opinión.

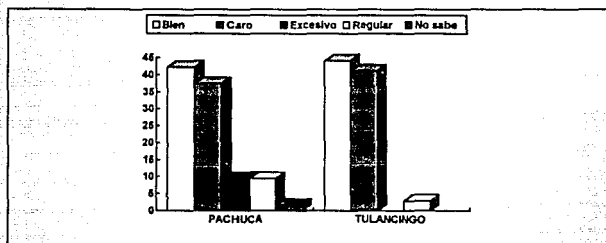
8.- OPINION SOBRE COSTOS Y ACTITUD DE COMPRA. Las respuestas de los entrevistados se muestran en la Tabla III.1.2.17.

VARIABLE		PACHUCA (%)	TULANCINGO (%)
COSTO POR LINEA	Bien	95.3	97.1
	Caro	3.1	--
	Regular	1.6	--
COSTO POR MINUTO	Bien	42.2	44.1
	Caro	37.5	41.2
	Excesivo	9.4	--
	Regular	9.4	2.9
	No sabe	1.6	--
CONOCIMIENTO COSTO	Compra	62.9	66.7
	No compra	25.7	25.9
	Duda	11.4	7.4

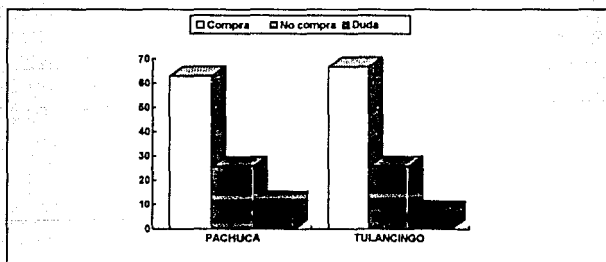
Tabla III.1.2.17.- Opinión sobre costos y actitud de compra. Investigación de campo.



COSTO POR LINEA.



COSTO POR MINUTO.



CONOCIMIENTO COSTO.

Gráficas III.1.2.14.- Opinión sobre costos y actitud de compra.

9.- OPINION SOBRE PUNTOS DE VENTA. El centro de la Ciudad de Pachuca está dejando de ser el lugar donde se concentran la mayoría de los servicios y los grandes comercios. El crecimiento se ha dado siguiendo el modelo de colonias satélites y de plazas comerciales donde se reúnen grandes tiendas de autoservicio, cines y diversos comercios,

cuya característica importante, es su amplio espacio para estacionamiento. Esto, vuelve a la plaza un lugar comodo para que el público con automóvil acuda a realizar sus compras.

No ocurre lo mismo con Tulancingo, donde no hay Plazas comerciales y el centro de la ciudad ejerce una fuerte atracción, ya que es donde se concentran los bancos y los grandes comercios.

Las respuestas sobre los puntos de venta se concentran en la Tabla III.1.2.18.

VARIABLE	PACHUCA (%)	TULANCINGO (%)
CENTRO DE LA CIUDAD	21.4	50.0
CENTROS COMERCIALES	58.9	8.8
OTROS PUNTOS	18.9	2.9
NO SABE	--	14.7
NO CONTESTO	--	26.4

Tabla 3.1.2.18.- Posibles puntos de venta. Investigación de campo.

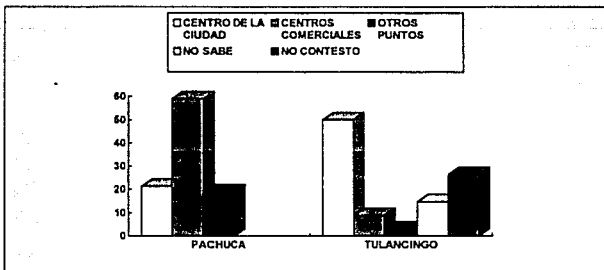


Tabla 3.1.2.15.- Posibles puntos de venta. Investigación de campo.

III.1.3.- CONCLUSIONES

1.- Aún cuando algunos de los medios más importantes de comunicación en Pachuca y Tulancingo son la telefonía tradicional y el fax que utilizan la misma red, la alternativa más importante para el uso de la red telefónica Pública es la telefonía celular.

2.- El empleo simultáneo que los usuarios hacen de varios medios, muestra claramente que para la telefonía celular, ninguno de los medios utilizados es competencia. El 45% de las empresas entrevistadas en Pachuca utiliza el servicio, mientras el 20% lo usa en Tulancingo aún cuando no haya servicio, lo cual se explica por la frecuente movilidad de usuarios a México y otras ciudades.

Ambos porcentajes muestran que existe un segmento del mercado abierto en Pachuca y Tulancingo para la telefonía celular, aún cuando en Pachuca ya lo haya.

3.- Si se ofrece simultáneamente el servicio en Pachuca y Tulancingo, el posicionamiento de la empresa que lo brinde en esta última ciudad sería desde luego mejor, por ser la única que ofreciera este servicio. Pero, la simultaneidad permitiría posicionarse mejor en el mercado de Pachuca debido a que los desplazamientos hacia Tulancingo desde Pachuca son numerosos (56%), por lo que posibles usuarios de Pachuca preferirán comunicarse en ambos puntos.

4.- Por lo que se refiere al mercado potencial, el 62% de los entrevistados en Pachuca, que no tienen celular, manifestó que comprarían el servicio. En Tulancingo, 67% de los que no tienen celular están dispuestos a comprarlo.

5.- Para el cálculo del mercado potencial del área hay dos variables importantes, que manejan los censos, el número de patrones o empresarios por municipio y el número de población ocupada con ingreso mayor de 10 salarios mínimos. Dado que el primer número es mayor, se considera que esta última variable es la que se debe tomar en cuenta para definir el rango mínimo del mercado potencial. Es decir, para Pachuca y Tulancingo,

el rango mínimo del mercado potencial es supoblación ocupada con ingresos superiores a 10 salarios mínimos; esto es, 2,022 empresarios.

6.- Para calcular el rango máximo del mercado potencial, se tendría que saber cuales de estos empresarios pueden ser multiplicadores del servicio, al contratarlo para directivos, supervisores, agentes, distribuidores y familiares. Siendo coservadores se puede considerar un rango medio del mercado potencial, dando un multiplicador de dos usuarios más al rango mínimo; esto es, 2,022 por 2 que resulta 4,044. El rango de mercado potencial que se propone es de 6,066 considerando el valor multiplicador igual a 3

7.- Entre otros análisis para poder cuantificar el mercado potencial del área, se puede hacer una estimación en base a la penetración de la telefonía celular área metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), en relación al número de líneas de telefonía tradicional y al total de la población Aplicando estas proporciones a Pachuca y Tulancingo, lo cual se muestra en las siguientes tablas:

Proporción	Cel/TELMEX	Proporción	Cel/Población
AMCM Celular	180,000	AMCM Celular	180,000
AMCM Líneas	2,368,862	AMCM Población	16,012,000
Cel/Lin	0.075985	Cel/Pob	0.0112415
1 Lin Tulancingo	9,675		
2 Lin Pachuca	27,160		
Lin (1 + 2)	36,835	Pob (1 + 2)	334,800
Mercado Pot.	2,798	Mercado Pot.	3,136

Tabla III.1.2.19.- Obtención del mercado potencial en Pachuca y Tulancingo en comparación con la penetración de la telefonía celular en la Ciudad de México.

La conclusión de este procedimiento es que si la penetración de la telefonía celular sigue el mismo patrón en relación al número de líneas tradicionales y la población total del

área metropolitana de México, en Pachuca y Tulancingo, el mercado potencial sería de aproximadamente de 3,000 usuarios.

8.- Una tercera vía para apreciar el número de usuarios, consiste en aplicar al grupo que percibe más de 10 salarios mínimos, el porcentaje de aquellos entrevistados que declararon estar dispuestos a convertirse en usuarios, lo que arroja los siguientes resultados:

POBLACION	PORCENTAJE	* POB > 10 SM	USUARIOS POTENCIALES
PACHUCA	62.9	1,502 por 3**	2,834
TULANCINGO	66.7	501 por 3**	1,040

* Población ocupada con ingresos mayores a 10 salarios mínimos.

** Constante probable de multiplicación.

Tabla III.1.2.20.- Mercado potencial. Base: población con percepciones mayores a 10 salarios mínimos.

Reunidos los resultados de los tres procedimientos tenemos:

	1	2	3
RANGO MINIMO	2,022	2,798	--
RANGO MEDIO	4,044	--	3,874
RANGO MAXIMO	6,066	3,136	--

Tabla III.1.2.21.- Mercado potencial obtenido los 3 procedimientos:

1.- Base: empresarios multiplicadores de servicio

2.- Base: comparación en función de la penetración de la tel. celular en la Cd. de México.

3.- Base: Población con ingresos mayores a 10 salarios mínimos.

9.- La determinación de la cobertura, si se desea optimizar el servicio y el mercado, debe tomar en cuenta, tanto el área de residencia habitual como los desplazamientos, ya que resulta que el mayor volumen de comunicación se alcanza cuando el usuario se desplaza o está afuera de su centro habitual de trabajo. Esto, estimula el consumo.

El movimiento de los entrevistados en Pachuca hacia diferentes ciudades confirma por ejemplo que la vinculación económica con ciertas áreas de Puebla y Veracruz es significativa, ya que rebasa en ambos casos el 30%.

Lo anterior nos indica que es importante cubrir los caminos de acceso hacia las ciudades más importantes y tratar de enlazar aquellas que ya tengan cobertura celular, a fin de dar continuidad a la comunicación de los posibles subscriptores y estimular el consumo del uso del servicio.

Se recomienda entonces que la penetración del servicio celular cubra las siguientes áreas y rutas:

(a) En primer lugar y en forma simultánea si es posible:

MEXICO-PACHUCA

PACHUCA-TULANCINGO

TULANCINGO-PIRAMIDES-MEXICO

(b) En segundo término:

PACHUCA-PUEBLA

TULANCINGO-PUEBLA por la vía:

PACHUCA - CIUDAD SAHAGUN - CALPULALPAN - APIZACO

-TLAXCALA - PUEBLA

TULANCINGO-TUXPAN por la vía:

TULANCINGO-HUAUCHINANGO-POZA RICA-TUXPAN

PACHUCA QUERETARO por la vía:

PACHUCA - ACTOPAN-IXMIQUILPAN-HUICHAPAN-PALMILLAS
-SAN JUAN DEL RIO-QUERETARO

(c) En tercer término;

PACHUCA-TAMPICO por la vía:

PACHUCA-ATOTONILCO-HUEJUTLA-TAMPICO

10.- Con base a las respuestas de los entrevistados y el reconocimiento de las ciudades, se sugieren los siguientes puntos de venta:

PACHUCA

- (a) Centro comercial Palza Bella.
- (b) Centro comercial Pachuca Perisur.
- (c) Avenida Revolución.
- (d) Avenida 5 de Mayo.

TULANCINGO

- (a) El centro de la ciudad si se cuenta con área propia de estacionamiento.
- (b) San Francisco Plaza (próxima a inaugurarse)

A continuación se muestra el cuestionario tipo que puede utilizarse para el estudio de mercado y que fue el aplicado en este caso.

CUESTIONARIO

1.- Qué medios de comunicación utiliza con mayor frecuencia?

2.- En su trabajo. Sale usted con frecuencia?

Si _____ No _____ Promedio días/mes _____

3.- Cuáles son los puntos geográficos que visitan con mayor regularidad usted y los empleados de su empresa?

4.- Mencione 3 carreteras que transiten usted y sus empleados de la empresa.

5.- Su ingreso mensual es mayor a 5 millones? Si___ No___

6.- Cuenta usted con telefono celular? Si___ No___

6a.-(Si no hay servicio). Conoce usted a alguien que tenga telefono celular?

Conoce___ No conoce___

6b.-Le gustaría tener servicio? Si___ No___

Por qué? Si___ No___

7.- Vive usted en esta ciudad? Si___ No___

8.- Considera usted el teléfono celular:

Muy útil___ Util___ Innecesario___

9.- Lo considera más util para su uso:

Personal___ En oficina___ Para emergencias___

10.- El teléfono celular resuelve algunos de los problemas de comunicación de usted y de la empresa?

Si___ No___

Cuáles?___ Por qué?___

11.- Mencione las características que requiere usted de un teléfono celular para que resuelva de mejor manera la comunicación de usted y de su empresa:_____

12.-Aqui en la ciudad. Sabe usted que empresas ofrecen el servicio de telefonía celular?

Si___ No___

Cuáles?_____

13.-Cuál considera usted que presta un mejor servicio?

14.-El costo de línea para telefonía celular es de 550,000 pesos. Qué le parece a usted esta cantidad?

15.- El costo por minuto promedio es de 1,500 pesos. Que le parece a usted esta cantidad?

16.- (Si no tiene conocimiento de costos). Se interesaría usted por comprar un teléfono celular?

Si _____

No _____

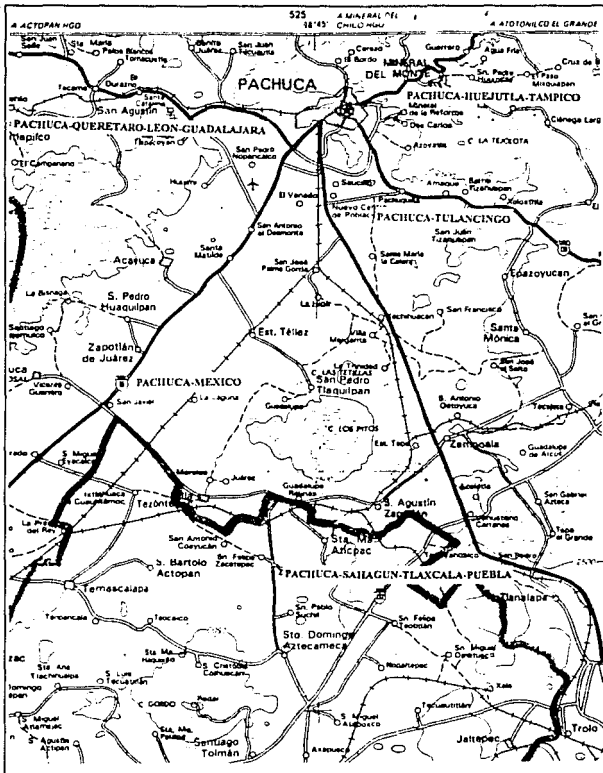
17.- Qué lugares de la ciudad recomendaría usted como puntos de venta y atención a clientes de la telefonía celular?

ENTREVISTADO _____

EMPRESA _____

RESPONSABLE _____

FECHA _____



CARRETERAS DE PACHUCA CON MAYOR TRANSITO VEHICULAR

III.2.- ESTUDIO GEOGRAFICO DEL LUGAR.

III.2.1.- MAPA Y CARGA DEL USO DE LOS DATOS.

Mapas adecuados y otra información geográfica proporciona una base necesaria para una planeación celular, realizando preliminar mente la selección del sitio y la predicción de la radio propagación.

La base de datos topográfica con resolución suficiente no es algunas veces disponible, por lo que se tienen algunos procedimientos para la extracción de datos relevantes para algún tipo de mapa, los cuales se utilizan para predicciones de radio propagación en un proyecto específico.

Durante años la planeación de radio por personal experimentado en el área ha adquirido la experiencia suficiente en todos los aspectos del manejo de datos.

La digitalización de la información de los mapas, hasta ahora es calificada poniendo a prueba los conocimientos adquiridos para definir el perfil en el espacio de tres dimensiones, la información topográfica de los mapas y paquetes existentes en el mercado es el camino más eficiente.

La radio propagación es principalmente afectada por el perfil de la altura del terreno, pero también intervienen otros factores como lo es el tipo de vegetación, estructura de construcciones, etc. como lo muestran la figuras II.2.1 y II.2.2. Consecuentemente la base de datos consiste en ambas alturas e información de la superficie.

De acuerdo al área cubierta se tiene determinado tráfico (Distribución Geográfica del Tráfico)

Estructura Celular:

- * La capacidad es igual a las necesidades.

Areas rurales - Células grandes - Baja capacidad.

Areas urbanas - Células pequeñas - Alta capacidad.

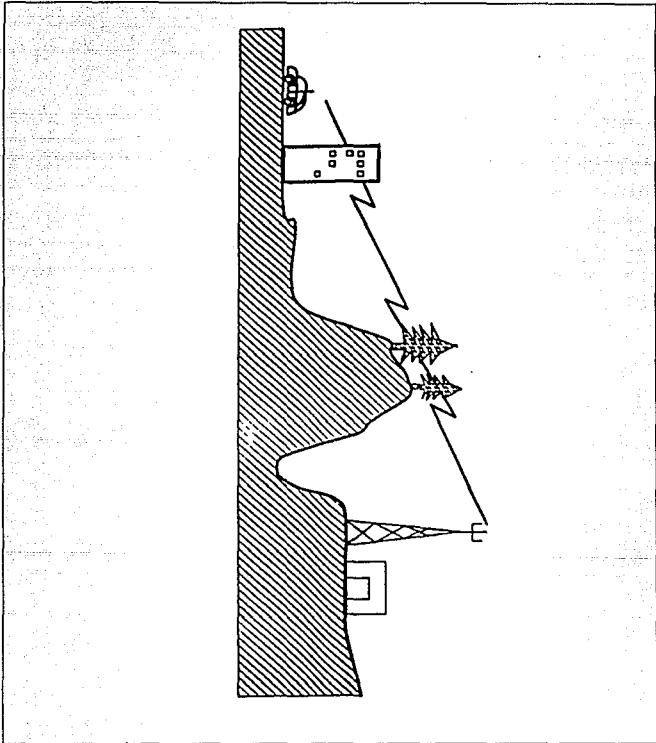


Figura 11.2.1.- Atenuación de la señal ocasionada por la vegetación.

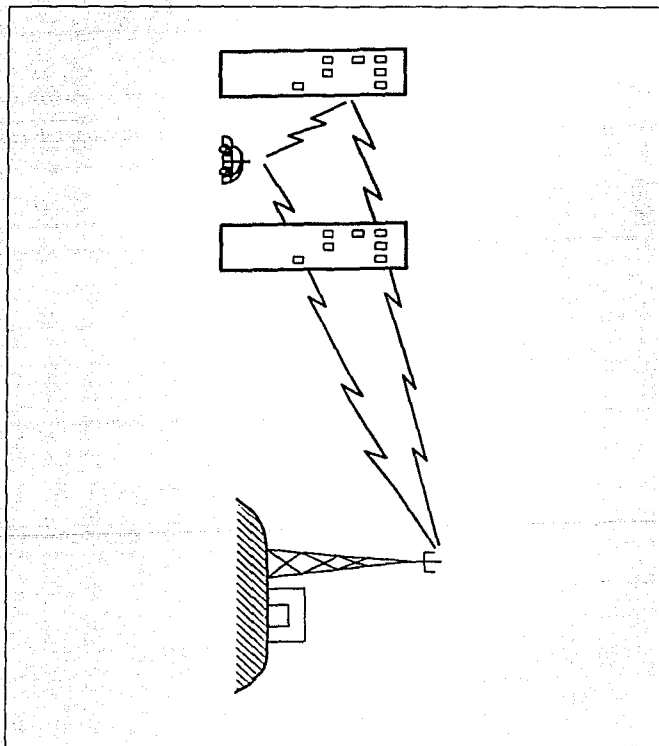


Figura 11.2.2 Atenuación de la señal ocasionada por la estructura de diferentes construcciones.

- * El sistema puede ser gradual pero continuamente en crecimiento.

Nuevos sitios son adicionados sin cambios, en los viejos sitios o alocaiones de frecuencias (división de células).

III.2.2.- INSPECCION DE CAMPO.

En orden de tener más exactitud en la predicción de la radio cobertura e información acerca del desarrollo de la señal, se realizan inspecciones de campo.

Inspección de sitio.- Cuando preliminar mente un sitio ha sido seleccionado, cada sitio puede ser visitado en orden de determinar la situabilidad del sitio en el cual se debe de considerar:

- * Terreno propio para el sitio.
- * Costo del alquiler del espacio (espacio de piso en construcción existente).
- * Camino de acceso.
- * Potencia eléctrica.
- * Línea de transmisión existente (Para la interconexión de la radiobase)
- * Situabilidad de la radio propagación.
- * Posibilidad de construir nuevas torres y sitios.

Inspeccion de radio.- Una inspección de radio envuelve la instalación de pruebas transportables, trasmitiendo desde el sitio propuesto y midiendo los niveles de la señal de recepción sobre el área de servicio, a través del uso de diferentes equipos de medición que se encuentran en el mercado como los que se muestran en las figura II.2.3 instalando algunos de ellos en un vehiculo equipado figura II.2.4. Para este propósito diferentes compañías tienen diseñados sistemas de mediciones computarizadas para el procesamiento posterior de los datos.

III.2.3.- INFORMACION DE MAPAS Y DIGITALIZACION.

Inicialmente los siguientes artículos son examinados:

- * Material de mapas, para la calidad y exactitud del proyecto.
- * Accesos, posibilidad de adquisición.
- * Posibilidad de adquirir la digitalización de manera externa para los mapas del proyecto.

La base de datos topográfica (base de datos de la altura del terreno y contorno del mismo) para la exactitud y resolución requerida son también disponibles como lo muestra la figura II.2.5, pero antes de esto se tiene que visualizar el área a ser cubierta por el sistema. Para este propósito son comúnmente utilizados mapas de escalas 1:50,000 y 1:250,000 para la determinación de coordenadas y visualización de las líneas de nivel que presenta el terreno.

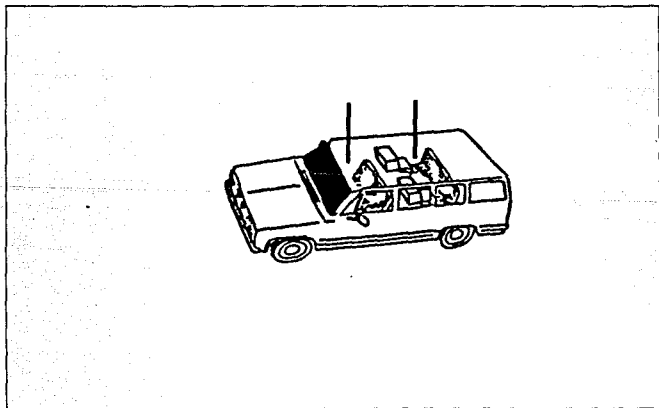


Figura II.2.4.- Vehículo equipado con equipo para realizar las mediciones.

La base de datos de la superficie del área (base de datos que contiene la información acerca del tipo de terreno, construcciones etc.) debe de ser creada por lo cual la entrada de los datos no siempre es tan confiable como lo aparentan los mapas, por lo cual el conocimiento de la

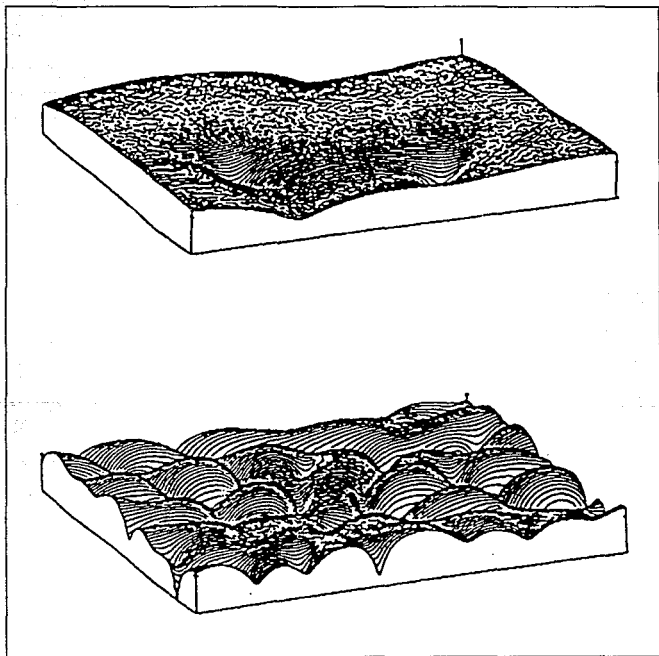


Figura 11.2.5.- Topografía de diferentes zonas que se encuentran como una base de datos.

experiencia adicional, el cual es adquirido en la inspección visual (survey) es forzosamente requerido para algunos sitios. Dado que la experiencia para calificar algunos sitios es de mucha importancia en cuanto a las características de la superficie.

Después de la decisión y adquisición de mapas, se puede comenzar a digitalizar la base de datos, líneas de contornos y características de la superficie, las cuales son de mucha importancia para la base de datos. Para particulares aplicaciones algunas compañías sólo digitalizan caminos o puntos relevantes de importancia en los mapas (lagunas, ríos, etc) para la presentación de la cobertura de radio en papel como se muestra en las figuras II.2.6 y II.2.7.

III.2.4.- PREPREDICION.

La pre-predicción es desarrollada antes de que cualquier inspección de datos este disponible. Los parámetros de los modelos de predicción son puestos de acuerdo a tempranas experiencias.

Los datos del terreno son usados conjuntamente con sistemas e información del sitio, en la predicción, el nivel de recepción de la señal, o la señal de radio interferencia, es calculada por todas las locaciones en el área de predicción.

La salida de la predicción es en forma de muestras en el mapa mostrando la cobertura (las cuales son diferentes de acuerdo a los diferentes paquetes que se encuentran comercialmente en el mercado). Las áreas en donde el nivel de la señal es confiable tiene ciertos limites de acuerdo a lo requerido para el proyecto.

III.2.5.- INSPECCION DE RADIO.

Diferentes compañías que desarrollan estos sistemas cuentan con el acceso a los modelos de propagación de la onda y a los recursos computacionales para las predicciones de la cobertura y análisis de la calidad de la señal. Dado a la gran diferencia que existe en cuanto a la topografía

de los diferentes países tomando en cuenta de igual forma los aspectos meteorológicos y de vegetación en cuanto a que influyen en la base de datos. Por lo cual en algunas ocasiones es necesario el desarrollar simulaciones de campo en áreas de interés en orden de adaptar a la mayor

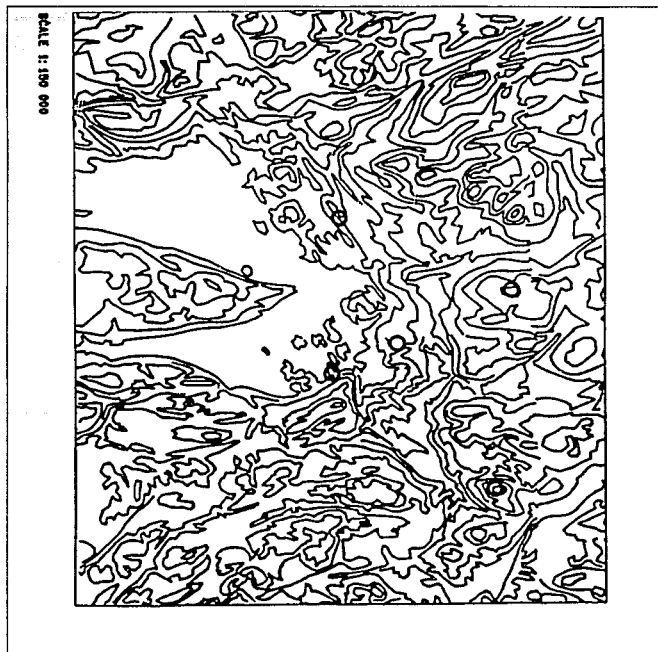


Figura II.2.6.- Digitalización de las líneas de nivel para determinada área.

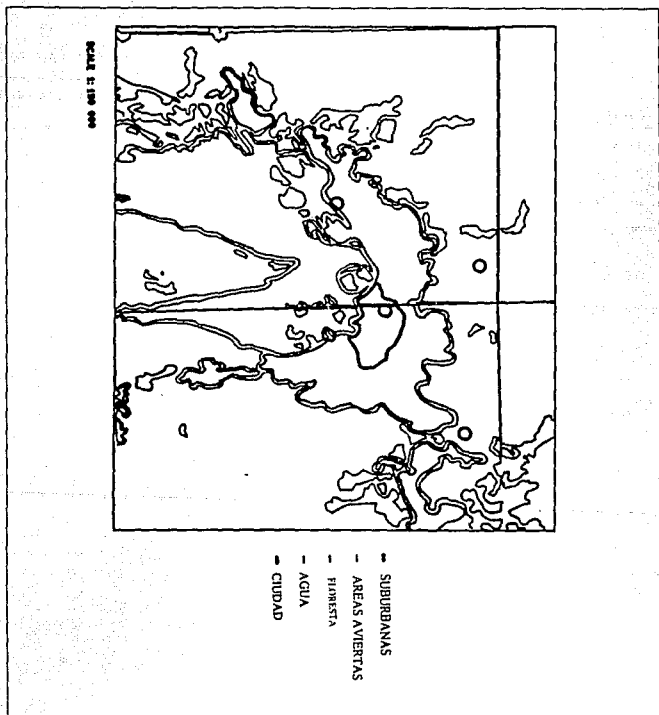


Figura 11.2.7.- Digitalización de las líneas de nivel y diferentes puntos de interés (Lagunas, Ríos, Carreteras, etc.) para determinada área.

manera los modelos en diferentes áreas de diferentes países en donde la predicción ha sido desarrollada.

Las simulaciones son realizadas a través de un transmisor y una antena colocados en el sitio propuesto para la radiobase. La predicción es desarrollada mediante el uso del desarrollo computacional de equipo de medición instalado en un vehículo, como lo muestra la figura II.2.8. Los datos medidos son recolectados para la comparación posterior al survey y son analizados para determinar las correcciones necesarias que no tiene contempladas el paquete.

III.2.5.1.- TIPOS DE INFORMACION QUE ES RECOLECTADA.

***Nivel de señal de recepción:**

Una marca es recolectada, a cada 20 ó 50 metros de distancia. El valor de distribución de estas muestras es grabada y transferida a una computadora.

***Distancia de viaje.**

Cada determinado tiempo un nivel de señal es grabado, o cuando se requiere de una marca, (la distancia de viaje es grabada de acuerdo al paquete utilizado y sirve para marcar alguna referencia).

***Marcas de locación.**

El operador dibuja una línea en el mapa a lo largo de la trayectoria de medición y puntos fuera como números de marcas de locación.

***Mensajes.**

Mensajes acerca de varias condiciones de medición son usados en los análisis subsecuentes de los resultados de la inspección.

Los resultados del survey son desplegados en los siguientes documentos:

***Lista de parámetros y datos para equipo de radio, usado en las inspecciones de las inspecciones de radio.**

***Ploteo de las muestras de las rutas de inspección y posición de las mismas.**

*Ploteo de los niveles de señal medida para algunas áreas en especial.

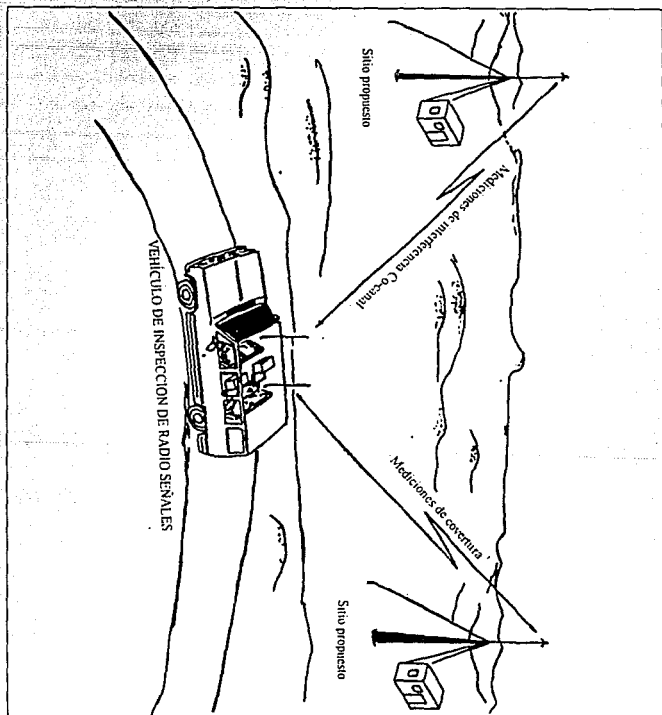


Figura II.2.8.- Realización de las mediciones de acuerdo a simulaciones requeridas con el equipo móvil necesario.

III.2.5.2.- PREDICCIÓN FINAL.

La predicción final es desarrollada después de la inspección de radio y simulaciones requeridas conjuntando todos los datos como se muestra en la figura II.2.9.

En orden de comparar la predicción con la inspección de radio, punto por punto para la parte central de cada espacio. Donde las diferencias dentro de la predicción con respecto a la inspección de campo son calculadas para arreglos de errores propios e inevitables. Analizando posibles errores en la base de datos de ciertas áreas, si esto es necesario, lo cual es conjuntamente analizado para el desarrollo de una predicción cercana lo más posible a la realidad.

III.2.5.3.- INSPECCION PARA LA SITUABILIDAD DE LA RADIOBASE.

Esta investigación consiste en dos partes separadas en cuanto a la investigación:

*Inspección visual.

*Mediciones del espectro.

Inspección Visual.

Es una investigación con respecto a obstrucciones en la vecindad del área, como lo pueden ser riscos que pudieran reflejar o impedir la transmisión de la señal o así como en áreas urbanas, estructuras muy gruesas de edificios que pudieran afectar. Una estimación general de la situabilidad para estaciones base, son en este momento desarrolladas.

El propósito de las mediciones del espectro es el obtener información acerca del comportamiento de la señal en el medio ambiente deseado para cada sitio en orden de proteger de interferencias. Cuando el transmisor es colocado con otros receptores se pueden presentar problemas de calidad, con lo cual algunos receptores pueden ser bloqueados para no dañarse.

El análisis del espectro es usado en orden de inspeccionar si hay frecuencias que pueden intervenir al sistema o viceversa, la frecuencia y nivel de señal es registrado automáticamente y

DIGITALIZACION DE MAPAS

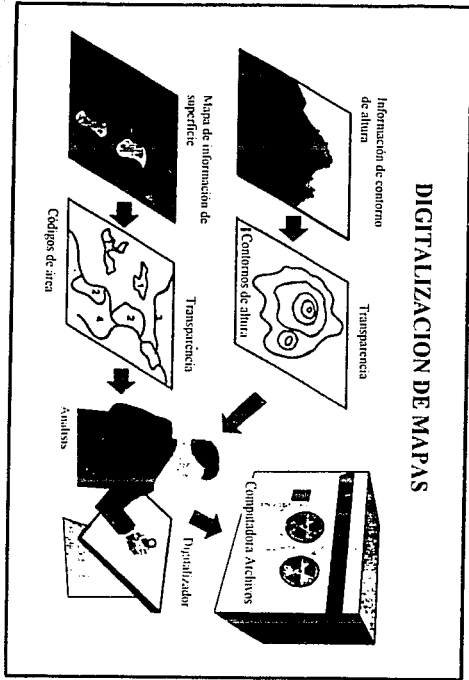


Figura IL.2.9.- Representación de la forma en que son conjuntados todos los datos para la predicción final.

analizado dado que frecuencias dañinas y niveles de señal pueden ser plotados por el equipo.

En un caso simple es posible decidir la situabilidad del sitio y el propósito de las mediciones para reducir los disturbios de los niveles. En otros casos el resultado de las mediciones puede ser analizado por computadoras antes de que alguna medición sea propuesta.

Las mediciones requieren de personal con alguna experiencia en el análisis del espectro, dado que las mediciones pueden ser afectadas por no contar con un buen sitio o alguna altura no muy conveniente. Esto es algunas veces muy importante dado que todos los transmisores y receptores en la vecindad son catalogados y analizados. Por lo cual esto es siempre un riesgo dado que en ocasiones las posibles alteraciones no son consideradas y no toda la información es relevante.

El análisis del espectro de la banda de frecuencias puede ser desarrollada en conexión con las mediciones, el resultado será un valor para la planeación de las frecuencias finales a utilizar y una decisión final sobre la situabilidad para la estación base.

III.3.- ESTUDIOS DE PROPAGACION EN BASE A COMPUTADORA.

Al nombrar estudios de propagación, nos estamos refiriendo a cálculos matemáticos empleando fórmulas de propagación, tanto de espacio libre como de difracción y reflexión, para determinar la cobertura esperada de una estación radiobase, dependiendo de parámetros establecidos como son: tipos de antenas, potencia manejada, inclinación de antenas, tipo de terreno, etc., y así poder establecer a que valores se deben ajustar estos parámetros para que la misma sea puesta en operación o discriminarla si no se ajusta a los requerimientos que necesitamos.

El realizar dichos cálculos manualmente tomaría demasiado tiempo, ya que estos se deben hacer para un determinado número de trayectorias posibles que pueda tomar la señal, dependiendo del terreno en que se esté propagando, por lo que para tal fin se utilizan programas de computación, que agilizan estos procedimientos, haciendo este trabajo de una manera más precisa, ya que toman una gran cantidad de trayectorias, considerando el tipo de terreno y todos los parámetros requeridos, y dando los resultados de una manera gráfica y más tangible.

Existen varios programas de computación encaminados a realizar simulaciones de propagación de señal, los cuales siguen un procedimiento similar para la obtención de resultados; uno de los más empleados en todo el mundo es el ANET (Advanced Network Engineering Tools), en el cual nos basaremos para conocer la forma de trabajar de estos programas.

Estimaciones recientes indican que todo proyecto para adicionar una nueva estación radiobase en un sistema de telefonía celular cuesta a una compañía aproximadamente 1,000,000 de dólares, esto incluye el costo del diseño, obra civil, equipo y licencias, por lo que los ingenieros que llevan a cabo este proyecto, deben asegurar a su compañía de que el mismo está en la mejor localización posible y que este proporcionará la cobertura deseada sin causar problemas de interferencia con radiobases existentes; debido a lo que económicamente

representa un diseño para cualquier empresa, se deben tener una gran visión y una herramienta de simulación de propagación de señales, como es el ANET, para apoyar sus cálculos, ya que sería impráctico estar experimentando sobre alguna estación radiobase que se tenga en operación para determinar los parámetros de una que este en proyecto, ya que las condiciones de terreno y construcción por lo general no son iguales en todo el sistema. Estos tipos de programas nos pueden indicar, aparte de que si la nueva estación radiobase proporcionará la cobertura deseada, otro factor muy importante, que es el nivel de interferencia que esta puede generar al entrar en operación; usando esta herramienta de simulación se puede experimentar con las variables de diseño para optimizar la cobertura y el nivel de interferencia deseados, y todo esto debe hacerse antes de que el nuevo sitio sea instalado, lo que propiciará a que este trabaje inmediatamente después de que se termine el diseño y construcción, cuidando el dinero de la compañía, y reduciendo contratiempos que pudieran pasar los usuarios debido a problemas de interferencia y cobertura; también existen programas de computación, como ANET, que pueden recomendar que canales son los óptimos para utilizarse en el nuevo diseño, estos seleccionan canales que no aportan problemas de interferencia cocanal y adyacente.

Como ejemplo, la Figura III.3.1 muestra un sistema existente con nuevos sitios proyectados (sitios marcados con el número 2 y encerrados por medio de un círculo), para lo que se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Los nuevos sitios cubrirán exactamente el área requerida?

Los nuevos sitios producirán problemas de interferencia con sitios existentes?

Qué canales deberán asignarse a los nuevos sitios para evitar problemas de interferencia?

El programa de computación toma la información acerca del sistema existente y lo guarda en una base de datos, un modelo de " propagación" predice o simula los niveles de señal de un sector de una estación radiobase en todos los puntos alrededor de este. Una función conocida como " mejor servidor " compara los niveles de señal de todos los sectores para determinar en que punto cada uno es el que tiene el mejor nivel de señal.

Un estudio de "interferencia" muestra que áreas son afectadas por esta, y la magnitud de la misma. Un módulo de "planeación de frecuencias" recomienda la asignación de canales para evitar en lo posible la interferencia en general.

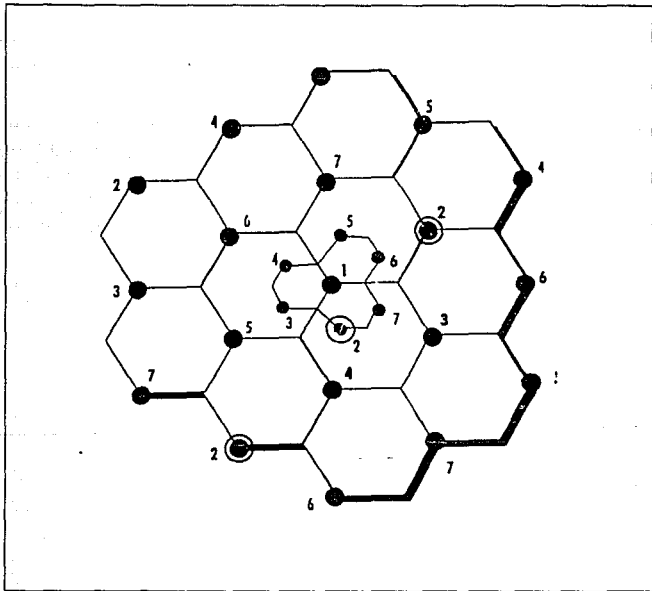


Figura III.3.1.- Gráfica de un sistema existente con nuevos sitios a adicionar, estos son los marcados con el número 2 y encerrados en un círculo.

La función del modelo de "propagación" es la más importante del programa, debido a que de los resultados que se obtienen de esta dependen los resultados de las demás funciones y

módulos; por ello se le considera el bloque básico de las funciones de ingeniería de radiofrecuencia de ANET; para la obtención de resultados de esta función se deben tener los siguientes datos de entrada:

- Datos de terreno: proveer la elevación sobre el nivel del mar para el área geográfica en estudio. Estos datos pueden ser obtenidos a partir de mapas topográficos de diversas escalas o datos de fotogrametría, los cuales son digitalizados y se guardan en forma de archivos en las computadoras (también conocidos como archivos de terreno); de las escalas de los mapas de donde se obtengan estos datos y archivos dependerá la precisión de los resultados.
- Datos de antena: proveer los patrones de radiación vertical y horizontal de las antenas a emplearse. Por lo general los programas de computación contienen datos de las antenas más utilizadas con opción a añadir las que se requieran de otros tipos.
- Datos de morfología: datos acerca de la densidad de obstrucciones sobre el terreno. En estos datos se tienen las siguientes categorías:

- Zona de agua
- Zona de árboles
- Zona de matorrales
- Terreno seco
- Terreno húmedo
- Zona residencial ligera
- Zona residencial densa
- Zona urbana ligera
- Zona urbana densa

estas categorías son usadas para compensar las diferentes pérdidas por trayectoria a través de cada tipo de terreno.

- Datos de localización de sitio:
 - Latitud
 - Longitud

- Elevación sobre el nivel del mar.
- Datos de la estación radiobase:
 - Tipo de antena (dato para llamar a los patrones de radiación de la base de datos de antenas)
 - Inclinación de antena
 - Tipo de inclinación (eléctrica o mecánica)
 - Orientación de antena
 - Altura de antena
 - Potencia efectiva radiada.

Uno de los factores importantes para la obtención de resultados precisos son los datos de terreno, que pueden ser obtenidos de las siguientes fuentes:

- De mapas escala 1:250,000, cuyo rango de error es de aproximadamente +/- 50 metros.
- De mapas escala 1:25,000, cuyo rango de error es de aproximadamente +/- 15 metros.
- De fotogrametría, cuyos datos se obtienen de digitalizar fotografías aéreas, y cuyo rango de error es de aproximadamente +/- 3 metros; los datos de este tipo incluyen datos de carreteras y túneles que muchas veces no están considerados en los mapas anteriormente mencionados.

Los errores que se presentan en la obtención de estos datos se deben a que en algunos mapas no se tiene precisión en los picos de cerros o pequeños montes, que tienen efecto sobre las pérdidas por trayectoria de propagación y también sobre las pérdidas por difracción; al ser los datos de fotogrametría los más precisos, se recomienda utilizar estos en áreas donde las fluctuaciones de terreno son constantes y pronunciadas.

Las siguientes cuatro figuras muestran las ventajas de la fotogrametría; la figura III.3.2 muestra un perfil de terreno que se obtiene de la digitalización de un mapa escala 1:250,000, la figura III.3.3 muestra el mismo perfil que se obtiene del uso de la fotogrametría.

De estas figuras se puede notar la mejor definición en lo que se refiere a picos y valles de la figura III.3.3.

La figura III.3.4 muestra la predicción de señal sobre el perfil de terreno que se obtiene de la digitalización del mapa escala 1:250,000, la figura III.3.5 muestra la predicción de señal sobre el perfil de terreno que se obtiene de la digitalización de datos de fotogrametría; de estas dos figuras podemos notar las variaciones que se tienen en el nivel de señal entre una y otra que se deben al considerar o no las pérdidas por trayectoria debidas a los picos y valles que se tienen en las mismas.

Todos los archivos de terreno cubren un área de 1 x 1 grados geográficos, y todos estos tienen el mismo arreglo de puntos de datos, cada punto esta espaciado en segmentos de tres segundos geográficos, por lo que si tomamos en cuenta que en cada minuto hay 20 puntos, en un segmento de 1 grado geográfico hay $(20 \times 60) + 1 = 1,201$ puntos, y de este resultado podemos asumir que en un área de 1 grado geográfico cuadrado el número total de puntos es $1,201 \times 1,201 = 1,442,401$ puntos de datos, lo anterior se puede apreciar en la figura III.3.6.

Otro de los factores importantes a considerar en la precisión de los resultados es la morfología del terreno, entiendase por esta la clasificación de la densidad de obstrucciones sobre el terreno, las cuales causan diferentes grados de pérdidas por trayectorias, un terreno con una zona urbana densa degrada más la señal que un terreno con una zona residencial ligera, el modelo de propagación de ANET puede usar diferentes tipos de morfología para diferentes áreas, obteniendose con esto predicciones de intensidad de señal más exactas; las categorías morfológicas enunciadas anteriormente causan cada una un diferente grado de atenuación, el cual puede ser tomado por el modelo de propagación para aplicarlo a sus cálculos. Para que el modelo de propagación tome en cuenta estos tipos de morfología se tienen que introducir valores para cada una expresados en decibelios, teniendo como una base los siguientes valores:

- Zona de agua +9 dB
- Zona de árboles +6 dB

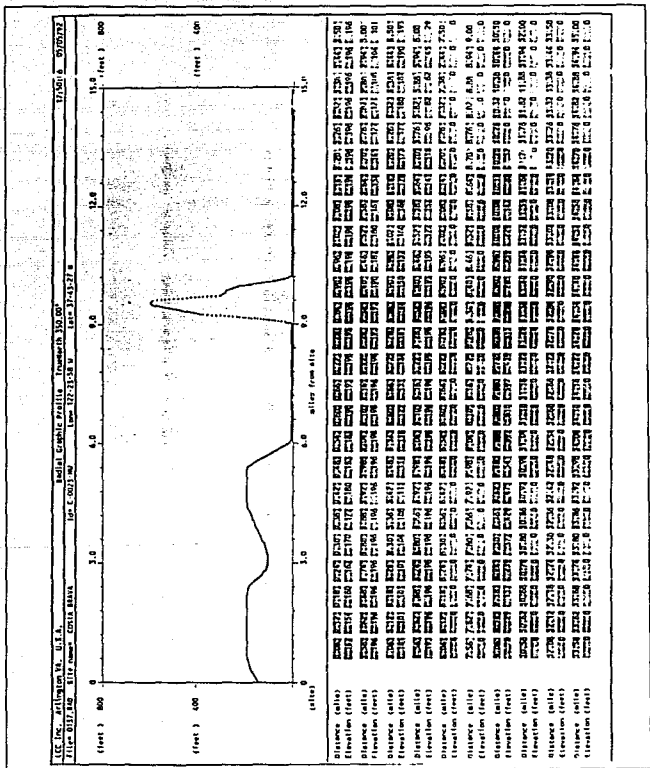


Figura III.3.2.- Perfil de terreno que se obtiene de la digitalización de mapa escala 1:250,000.

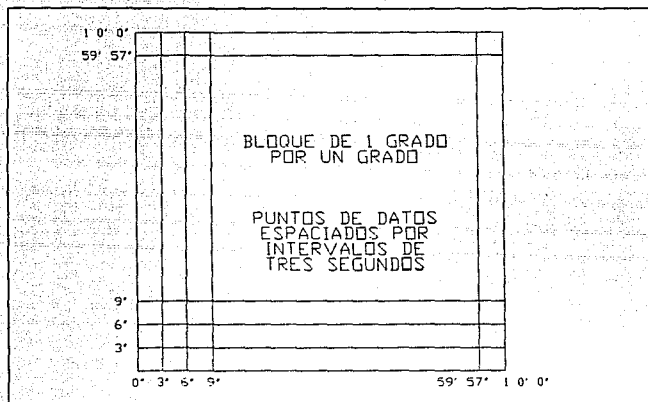


Figura III.3.6.- Arreglo de datos de puntos sobre un área de 1 grado geográfico cuadrado.

- Zona de matorrales +3 dB
- Terreno seco +6 dB
- Terreno húmedo +6 dB
- Zona residencial ligera 0 dB
- Zona residencial densa -6 dB
- Zona urbana ligera -8 dB
- Zona urbana densa -9 dB

Para llevar a cabo los cálculos de propagación el primer paso es adquirir los datos de terreno que se aplican al sitio en estudio, y para esto ANET toma en cuenta que todos los sectores pertenecientes a una estación radiobase usan los mismos datos, ya que considera los datos en forma de círculo alrededor de la estación radiobase. Así mismo, utiliza como dato el

radio de cobertura a analizar, que también debe ser introducido para el estudio, esto se hace para que el proceso no sea lento al realizar cálculos sobre áreas que por intuición nunca van a ser cubiertas por esta; para la adquisición de estos datos el programa colecta estos por medio de líneas rectas llamadas radiales que parten del centro hacia a fuera del punto de localización de la estación radiobase en estudio, el usuario del programa puede escoger el número de líneas que debe utilizar el programa para el estudio, el cual por lo general es de 360, que equivale a un radial por grado de un círculo, con cuyo número se obtienen buenos resultados; para cada radial el programa colecta 250 datos de elevación de terreno sobre las mismas (figura III.3.7) y con esto, por ejemplo, si utilizamos 360 radiales por estación radiobase se tendrán $360 \times 250 = 90,000$ datos colectados, el intervalo de estos datos puede ser encontrado al dividir el radio a analizar entre 250, por ejemplo, si el radio de cálculo es de 2 Km, entonces el intervalo de los datos es de $2000/250 = 8$ m.

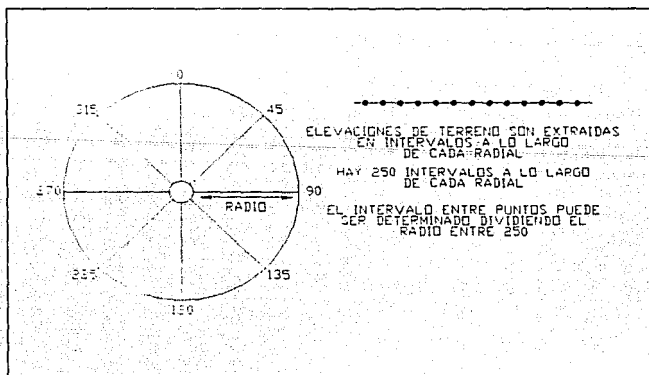


Figura III.3.7.- Forma de colección de datos por radiales en ANET.

Cuando el programa colecta los datos del archivo de terreno por lo general debe hacer una interpolación entre los datos de este, debido a que es muy raro que un punto de dato de un radial coincida directamente con un punto de dato de un archivo de terreno, la figura III.3.8 muestra un ejemplo de lo anterior, la interpolación se lleva a cabo entre los cuatro puntos A, B, C y D que se muestran en la misma.

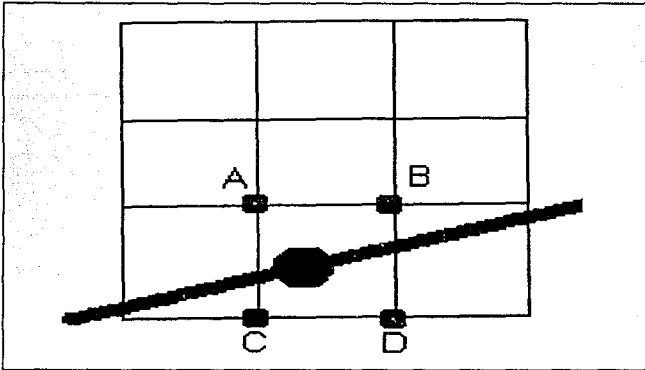


Figura III.3.8.- Puntos de dato de archivo de terreno y de radial.

Después de que los datos de terreno son adquiridos por el programa, se llevan a cabo los cálculos de niveles de señal para la estación radiobase en estudio, los cuales pueden ser realizados ya sea analizando sector por sector de la misma o todos los sectores en estudio a la vez; el modelo de propagación calcula las pérdidas por trayectoria utilizando los siguientes componentes:

Pérdidas por trayectoria, en donde se puede aplicar el siguiente modelo:

$$\text{Pérdidas por trayectoria} = C_1 - (C_2 \cdot \log h_{BC}) + (C_3 - (C_4 \cdot \log h_{BC})) \cdot \log R + C_5$$

donde:

h_{BC} es la altura de la antena en la estación radiobase

R es la distancia de la estación radiobase al punto en estudio

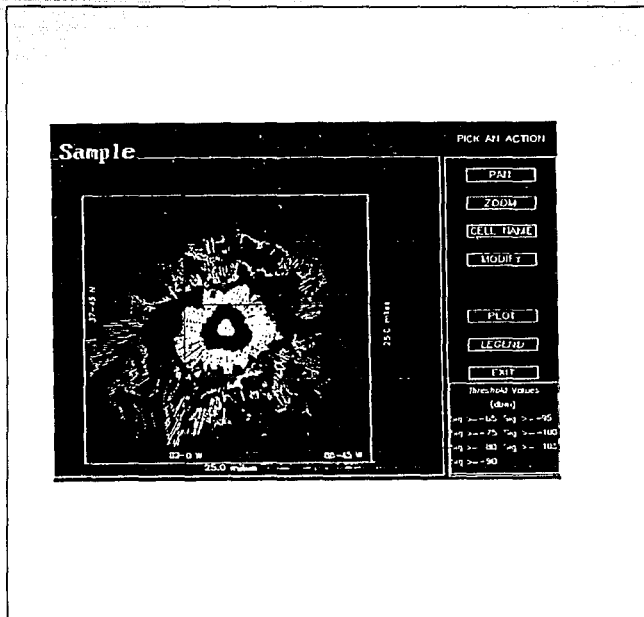


Figura III.3.9.- Predicción de propagación en forma gráfica.

para las constantes que se especifican en la fórmula se puede optar por los siguientes valores:

	Espacio libre	Modelo de Okumura	Modelo del Dr. Lee
C1	91.24	146.4	157.7
C2	0	13.8	20.0
C3	20.0	44.9	38.4
C4	0	6.6	0
C5	0	0	0

Efectos de difracción

Patrones de radiación, inclinación y tipo de inclinación de antenas

Curvatura de la tierra

Morfología

Finalmente al aplicar todas estas componentes el programa nos entrega una predicción de propagación en forma gráfica, que puede ser vista en pantalla o puede ser impresa para su análisis sobre un mapa para tener una mejor visualización de la misma, este resultado se muestra en la figura III.3.9., en donde se puede apreciar que se obtienen los niveles de señal en dBm como referencia.

III.4.- DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Lo más importante durante el dimensionamiento del sistema es el determinar el número de canales de voz, para una radiobase, a fin de cargar con el máximo de tráfico dentro de su área de servicio con un mínimo de llamadas perdidas o grado de congestión.

Los requerimientos de cobertura determinan el número mínimo de radiobases necesarias. La capacidad de tráfico específico, determina el número de canales en cada una de las radiobases. Muchas veces el número de radiocanales disponibles, no es suficiente para cubrir los requerimientos de capacidad, por lo cual se hace necesario reducir el área de cobertura de cada sitio y hacer el más eficiente reuso de frecuencias posible para poder incrementar la capacidad del sistema

III.4.1.- DEFINICION DE TRAFICO

Un factor decisivo para determinar el número de subscriptores que podrán ser atendidos por una red de telefonía, es el monto de tráfico generado por cada uno de ellos.

El tráfico por subscriptor es definido por el porcentaje de llamadas y por el tiempo de conversación. Generalmente los siguientes parametros estan definidos:

Tiempo promedio de conversación	T segundos
Número de llamadas por hora y por subscriptor	n

El producto especifica evidentemente el número de segundos por hora que el promedio de subscriptores, utiliza el sistema. Para cada subscriptor, se puede definir ahora el monto de tráfico:

$$A = \frac{n \times T}{3600}$$

Donde A es el monto de tráfico expresado en Erlangs.

El Erlang es la unidad preferida de tráfico, nombre dado en honor del matemático danés, A. K. Erlang. Es una unidad adimensional.

Un Erlang de intensidad de tráfico sobre un circuito, canal o troncal, significa la ocupación continua de tal circuito; es decir, nos indica cuanto tiempo un suscriptor se encuentra ocupado usando el sistema. Por ejemplo, si un grupo de 10 canales tiene la intensidad de 5 Erlang, se esperaría encontrar la mitad de los circuitos ocupados al momento de la observación o medición.

Como el tráfico tiende a variar con la hora, el dimensionamiento de las radiobases de la red celular debe ser cuidadosamente realizado, para poder soportar la carga de tráfico durante las *horas pico* de mayor ocupación del sistema.

Algunas especificaciones típicas de abonados celulares, pueden observarse como sigue:

Tiempo promedio de conversación	120 s.
Número de llamadas por suscriptor, y en hora pico	1
Como ejemplo, podemos considerar el número de suscriptores	1000

La distribución del monto de tráfico puede variar de acuerdo al tipo de comunicación que se establezca; es decir, el tráfico originado por o hacia suscriptores móviles carga de diferente forma al sistema.

Tráfico de fijo a móvil	15%
Tráfico de móvil a fijo	75%
Tráfico de móvil a móvil	5%

De las especificaciones anteriores, el tráfico por suscriptor se puede calcular inicialmente como:

$$A = \frac{120 \times 1}{3600} = 0.0333 \text{ Erlangs}$$

Para 1000 suscriptores el tráfico será entonces de 33 Erlang. Si una sola radiobase cargara con este monto específico de tráfico. Este es el procedimiento básico para dimensionar el número de canales de las radiobases de la red, cuando se tiene la predicción del número de abonados que manejará cada sitio celular.

III.4.2.- COMPORTAMIENTO DEL TRAFICO

La distribución de tráfico de los sistemas de telefonía celular tiene un comportamiento como el mostrado en la siguiente figura:

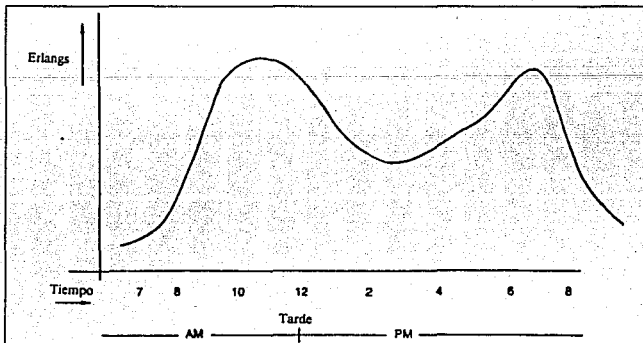


Figura III.4.2.1.- Comportamiento del tráfico de un sistema celular.

El porcentaje promedio de llamadas por suscriptor, es el tráfico total en el tiempo medido, dividido entre el número de suscriptores. Comúnmente, este porcentaje es cuantificado en Erlang por suscriptor por hora. Esto, determina el número de suscriptores que pueden ser atendidos por el sistema, lo cuál varía inmensamente.

Note que el tráfico varía de muchas formas con el tiempo. Las siguientes, son las más significativas variaciones:

Variación instantánea del arribo de llamadas.

Variaciones horarias que dependen de la demanda. Los sistemas celulares generalmente tienen horas pico durante la mañana y tarde con un mínimo durante las horas de comida.

Los picos en sistemas celulares difieren con los picos en sistemas convencionales, los cuales ocurren antes y después de la hora de comida en la tarde. Los picos celulares ocurren durante las horas en que los usuarios están manejando; esto es, durante la ida y regreso del trabajo. En las redes convencionales, los picos ocurren durante la estancia de los usuarios en su trabajo.

Existe una marcada diferencia entre los días de trabajo (entre semana) y el fin de semana. y existe una variación significativa entre cada día de la semana.

Picos por temporada durante el año que suceden en la red pública (por ejemplo en navidad, día de la madre, etc.), Posiblemente se ven reflejados en la red celular, aunque algunas veces estos resulten negativos, como sucede en la disminución de tráfico en algunos días festivos.

III.4.3.- GRADO DE SERVICIO

Si un suscriptor genera un tráfico de por ejemplo 0.033 Erlang, podrá mantener ocupado un canal el 3.3% de su tiempo de operación de acuerdo con la definición anterior.

Entonces, 30 suscriptores cada uno con 0.033 Erlang cargarían al canal al 100% de su capacidad, por lo que la congestión sería altamente inaceptable.

Esto es, por ejemplo, si se tienen 30 canales en una radiobase y en consecuencia solo se puede atender a 30 suscriptores simultáneamente, si el suscriptor número 31 intentara establecer su llamada en ese momento, esta no se podrá realizar debido a que el canal se encuentra ocupado o congestionado.

La probabilidad de encontrar congestión es un parámetro muy importante en la ingeniería de tráfico de los sistemas de telecomunicación. Si se esperan condiciones de congestión de un sistema telefónico, lo más probable es que estas se presenten durante la hora pico, por lo que las radiobases se dimensionan para que manejen la carga en esas horas. Pero, si las radiobases se dimensionaran para manejar cualquier pico de tráfico, en muchos casos esto no sería económico, por lo que se espera que un canal o grupo de canales de un sitio celular tenga un cierto grado de congestión al que se le conoce como grado de servicio g.o.s.

El grado de servicio expresa la probabilidad de encontrar congestión durante la hora pico. Valores típicos para telefonía celular son de 2-5 %. Tomando por ejemplo un grado de servicio de 2%, significa que, en promedio, durante la hora pico se pierden 2 llamadas de cada 100. Estos valores de grado de servicio, 2 a 5 %, son valores aceptables de la probabilidad de que el sistema pueda estar congestionado u ocupado.

III.4.4.- CAPACIDAD DE UNA RADIOBASE

Consideremos, por ejemplo una radiobase con 33 canales, donde cualquiera de ellos puede ser utilizado durante una llamada siempre que se encuentre libre en ese momento.

Del ejemplo mencionado anteriormente, determinamos que 1000 móviles cada uno acarreado 0.033 Erlang de tráfico, representan un tráfico total igual a 33 Erlang.

Esto podría entonces cargar los 33 canales al 100%. La pregunta importante es, cuál es el monto de tráfico que puede acarrear un canal si nosotros especificamos un grado de servicio de por ejemplo 2% ?

La respuesta a esta pregunta se encuentra en la Tabla III.4.4.1, conocida como Tabla de Erlang , de la cuál sólo mostramos algunos valores.

Esta tabla especifica para un número diferente de canales (n) y un grado de servicio o probabilidad de pérdida de llamada g.o.s., el posible tráfico en Erlang. Luego entonces, para $n=33$ canales y un grado de servicio g.o.s.= 0.02, de la Tabla III.4.4.1, el tráfico es 24.6 Erlang.

Ahora bien, utilizando la formula obtenida en la definición de tráfico, y retomando las siguientes suposiciones sobre el comportamiento de los abonados celulares:

Tiempo promedio de conversación	120 s.
Número de llamadas por subscriptor, y en hora pico	1

Alrededor de 745 subscriptores móviles cada uno con 0.033 Erlang, podrían ser atendidos por la radiobase.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

n	Grado de servicio (g.o.s.)										n
	.00001	.00005	.0001	.0005	.001	.002	.003	.004	.005	.008	
1	00001	00005	00010	00050	00100	00200	00301	00402	00503	00604	1
2	00448	01005	01424	03213	04578	06534	08064	09373	10540	11608	2
3	00967	00848	03682	15170	19384	24872	28851	32099	34900	37395	3
4	12853	19544	23471	49324	43827	53503	62029	65568	70120	74124	4
5	27526	38848	45195	64857	76211	89266	99446	10692	11320	11870	5
6	47589	63922	72822	99566	11459	13252	14468	15421	16218	16912	6
7	72365	93919	10541	13922	15786	17984	19463	20614	21575	22408	7
8	10132	12812	14219	18297	20513	23105	24837	26181	27299	28266	8
9	13391	16593	18256	23016	25575	28549	30526	32056	33326	34422	9
10	16970	20688	22601	28028	30920	34265	36480	38190	39607	40829	10
11	20831	25058	27216	33294	36511	40215	42651	44545	46104	47447	11
12	24944	29670	32069	39781	42314	46368	49038	51092	52789	54250	12
13	29283	34499	37133	44465	48305	52700	55588	57807	59368	61214	13
14	33826	39522	42387	50324	54484	59190	62290	64670	66362	68320	14
15	38553	44721	47811	56339	60772	65822	69129	71665	73375	75552	15
16	43448	50079	53389	62496	67215	72582	76091	78780	80995	82898	16
17	48498	55582	59109	68782	73781	79457	83164	86003	88340	90347	17
18	53690	61220	64958	75186	80459	86437	90339	93324	95780	97869	18
19	59013	66580	70927	81658	87239	93514	97606	100703	103311	105522	19
20	64458	72854	77005	88310	94115	10068	10496	10823	11092	11322	20
21	70015	78834	83188	95014	10108	10793	11239	11580	11860	12100	21
22	75679	84913	89462	10180	10812	11525	11989	12344	12635	12885	22
23	81441	91084	95829	10868	11524	12265	12746	13114	13416	13678	23
24	87297	97341	10227	11562	12243	13011	13510	13891	14204	14472	24
25	93239	10368	10880	12284	12969	13763	14279	14675	14997	15274	25
26	99284	11009	11540	12972	13701	14522	15054	15461	15795	16081	26
27	10537	11658	12207	13686	14439	15285	15835	16254	16598	16937	27
28	11154	12314	12860	14406	15182	16054	16620	17051	17406	17695	28
29	11779	12978	13560	15132	15930	16828	17410	17853	18218	18520	29
30	12410	13644	14246	15863	16684	17606	18204	18660	19034	19355	30
31	13048	14318	14937	16599	17442	18389	19002	19470	19854	20183	31
32	13691	14997	15633	17340	18205	19176	19805	20284	20678	21015	32
33	14341	15682	16335	18085	18972	19966	20611	21102	21505	21850	33
34	14995	16372	17041	18835	19743	20761	21421	21823	22336	22689	34
35	15655	17067	17752	19589	20517	21559	22234	22748	23169	23531	35
36	16321	17766	18468	20346	21296	22361	23050	23575	24006	24378	36
37	16990	18470	19188	21108	22078	23166	23870	24406	24846	25223	37
38	17665	19178	19911	21873	22864	23974	24692	25240	25689	26074	38
39	18344	19890	20639	22642	23652	24785	25518	26076	26534	26926	39
40	19027	20606	21371	23414	24444	25599	26348	26915	27382	27782	40
41	19715	21326	22106	24189	25239	26416	27177	27756	28232	28640	41
42	20408	22049	22845	24967	26037	27235	28010	28600	29085	29500	42
43	21101	22776	23587	25748	26837	28057	28846	29447	29940	30362	43
44	21800	23507	24332	26532	27641	28882	29684	30295	30797	31227	44
45	22503	24240	25080	27319	28447	29708	30525	31146	31656	32093	45
46	23209	24977	25832	28109	29255	30538	31367	31999	32517	32968	46
47	23918	25717	26588	28901	30066	31369	32212	32854	33381	33832	47
48	24631	26460	27343	29696	30879	32203	33059	33711	34246	34704	48
49	25346	27256	28153	30493	31694	33039	33908	34570	35113	35578	49
50	26065	27964	28866	31292	32512	33876	34759	35431	35982	36454	50
51	26787	28708	29631	32094	33332	34716	35611	36293	36852	37331	51
n	.00001	.00005	.0001	.0005	.001	.002	.003	.004	.005	.008	n
Grado de servicio (g.o.s.)											

Figura III.4.1.- Tabla de Erlang.

n	Grado de servicio (g.o.s.)									n	
	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2		.4
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	1.1111	25000	66667	1
2	1.2600	1.3532	14416	15259	22347	28155	38132	59543	1 0000	2 0000	2
3	3.9684	4.1757	4.3711	4.5549	6.0221	7.1513	89940	1 2708	1 9299	3 4798	3
4	7.7729	8.1029	8.4085	8.6942	1 0923	1 2589	1 5246	2 0454	2 9452	5 0210	4
5	1.2382	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2 2185	2 8811	4 0104	6 5955	5
6	1.7531	1 8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2 9603	3 7584	5 1086	8 1907	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3 7378	4 6662	6 2302	9 7998	7
8	2.9125	2.9902	3 0615	3.1276	3 6271	3.9865	4 5430	5 5971	7 3692	11 419	8
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5 3702	6 5464	8 5217	13 045	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5 0840	5.5294	6.2157	7 5106	9 6850	14 677	10
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3260	7 0764	8 4871	10 857	16 314	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7 9501	9 4740	12 036	17 954	12
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7 4015	7.9667	8 8349	10 470	13 222	19 598	13
14	6.9811	7.1154	7.2382	7.3517	8 2003	8.8035	9.7295	11 473	14 413	21 243	14
15	7.7139	7.8588	7.9874	8.1080	9.0086	9.6500	10.633	12 484	15 608	22 891	15
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11 544	13.500	16.807	24.541	16
17	9.2119	9.3714	9.5171	9.6516	10.856	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192	17
18	9.9751	10.143	10.298	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844	18
19	10.747	10.922	11.082	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498	19
20	11.526	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152	20
21	12.312	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808	21
22	13.105	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464	22
23	13.904	14.110	14.297	14.470	15.781	16.675	18.080	20.737	25.281	36.121	23
24	14.709	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779	24
25	15.519	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437	25
26	16.334	16.561	16.768	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096	26
27	17.153	17.387	17.601	17.797	19.285	20.305	21.904	24.939	30.164	42.755	27
28	17.977	18.218	18.438	18.640	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414	28
29	18.805	19.053	19.279	19.487	21.039	22.140	23.833	27.053	32.614	46.074	29
30	19.637	19.891	20.123	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735	30
31	20.473	20.734	20.972	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067	49.395	31
32	21.312	21.580	21.823	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056	32
33	22.155	22.429	22.678	22.909	24.626	25.844	27.721	31.301	37.524	52.718	33
34	23.001	23.281	23.536	23.772	25.529	26.776	28.698	32.367	38.754	54.379	34
35	23.849	24.136	24.397	24.638	26.435	27.711	29.677	33.434	39.985	56.041	35
36	24.701	24.994	25.261	25.507	27.343	28.647	30.657	34.503	41.216	57.703	36
37	25.556	25.854	26.127	26.378	28.254	29.585	31.640	35.572	42.448	59.365	37
38	26.413	26.718	26.996	27.252	29.166	30.526	32.624	36.643	43.680	61.028	38
39	27.272	27.583	27.867	28.129	30.081	31.468	33.609	37.715	44.913	62.690	39
40	28.134	28.451	28.741	29.007	30.997	32.412	34.596	38.787	46.147	64.353	40
41	28.999	29.322	29.616	29.888	31.916	33.357	35.584	39.861	47.381	66.016	41
42	29.866	30.194	30.494	30.771	32.836	34.305	36.574	40.936	48.616	67.679	42
43	30.734	31.069	31.374	31.656	33.758	35.253	37.565	42.011	49.851	69.342	43
44	31.605	31.946	32.256	32.543	34.682	36.203	38.557	43.088	51.086	71.006	44
45	32.478	32.824	33.140	33.432	35.607	37.155	39.550	44.165	52.322	72.669	45
46	33.353	33.705	34.026	34.322	36.534	38.108	40.545	45.243	53.559	74.333	46
47	34.230	34.587	34.913	35.215	37.462	39.062	41.540	46.322	54.796	75.997	47
48	35.108	35.471	35.803	36.109	38.392	40.018	42.537	47.401	56.033	77.660	48
49	35.988	36.357	36.694	37.004	39.323	40.975	43.534	48.481	57.270	79.324	49
50	36.870	37.245	37.586	37.901	40.255	41.933	44.533	49.562	58.508	80.988	50
51	37.754	38.134	38.480	38.800	41.189	42.892	45.533	50.644	59.746	82.652	51
n	Grado de servicio (g.o.s.)									n	
	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4	

Figura III.4.4.1.- Tabla de Erlang (continua).

III.4.5.- EFICIENCIA DE TRUNCAMIENTO

Del ejemplo anterior, el tráfico por canal de la radiobase es $24.6/33 = 0.75$ erlang; lo que significa que cada canal es utilizado el 75% del tiempo. Esto es interesante si deseamos estudiar la eficiencia de las radiobases de diferente capacidad; es decir, con un número diferente de canales. Utilizando la Tabla de Erlang, podemos comparar por ejemplo, radiobases con 5, 10, 20, 30, 40, y 50 canales, tal como se muestra en la Tabla III.4.5.1

No. de canales	Tráfico (Erlang) g.o.s. = 2%	Tráfico Erlang por canal
5	1.66	0.33
10	5.08	0.508
20	13.2	0.66
30	21.98	0.73
40	31.0	0.78
50	40.3	0.81

Tabla III.4.5.1.- Eficiencia de radiobases con diferente capacidad o número de canales disponibles.

La eficiencia por canal se incrementa, como es de suponerse, con el tamaño de la radiobase. Para 50 canales la eficiencia por canal es 2.5 veces mejor que para 5 canales. Entonces, una radiobase de gran tamaño o con muchos canales tiene una mejor eficiencia de truncado.

III.4.6.- DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED DE RADIOBASES

Supongamos que vamos a instalar una red celular en una población cualquiera y que por requerimientos de cobertura, resulta que inicialmente solo 5 radiobases son necesarias. En total ellas manejarán el tráfico generado por 1000 subscriptores móviles cada uno con 0.033 Erlang, por lo que el tráfico total será de 33 Erlang. Para un aceptable nivel de congestión vamos a considerar un grado de servicio al 2%.

Primeramente, dividimos el total de tráfico entre los cinco sitios. Esta división podría ser definida por los abonados, cuando se tienen estadísticas sobre el comportamiento de los subscriptores sobre la forma, frecuencia y hábitos de uso del servicio celular. *También se puede asumir razonablemente, mediante alguna aproximación si es posible, el tráfico que acarreará cada radiobase.*

Vamos a considerar la siguiente distribución de tráfico:

Radiobase	% de tráfico	Tráfico en Erlang	No. de canales
1	40	13.2	20
2	25	8.25	14
3	15	4.95	10
4	10	3.30	8
5	10	3.30	5
TOTAL	100	33.0	60

III.4.6.1.- Posible distribución de tráfico de un grupo de radiobases.

Podemos ver que la distribución de tráfico entre varios sitios celulares resulta en un mayor número de canales requeridos, a si el tráfico hubiera sido concentrado en un solo sitio, dado que el número de canales requeridos con 33 Erlang es de 43.

Una aproximación para el dimensionamiento de nuevas radiobases que se requiera instalar cuando el sistema se encuentra en el proceso de división celular (cell splitting) o cuando la nueva célula formara parte de un grupo (cluster), es tomar en cuenta el monto de tráfico que se maneja en la zona donde la radiobase va a ser instalada.

Esto es, cada sector será dimensionado de acuerdo al tráfico que se maneje en la zona donde los sectores de las radiobases vecinas ya cursan una cantidad de tráfico de la cuál se tienen estadísticas en el MTX.

Por ejemplo, supongamos que por necesidades de cobertura o para incrementar la capacidad del sistema, se desea ubicar una nueva radiobase a la que llamaremos RBN, que será instalada dentro de un grupo de radiobases en operación llamadas RB1, RB2 y RB3, tal como se observa en la figura III.4.6.2., donde estas radiobases manejan una cierta cantidad de tráfico en cada uno de sus sectores y se encuentran distribuidas o localizadas sobre la ciudad como se indica en la figura III.4.6.2.

El tráfico de cada sector de la radiobase RBN, será igual a la suma del tráfico que se maneja en la zona, donde darán cobertura junto con los sectores de las radiobases vecinas, de los cuales ya se tienen datos; ésto entre el número total de sectores de la zona, tal como se indica a continuación:

Para el sector A de RBN:

$$RBNA = \frac{\frac{RB1C}{2} + RB3B}{3}$$

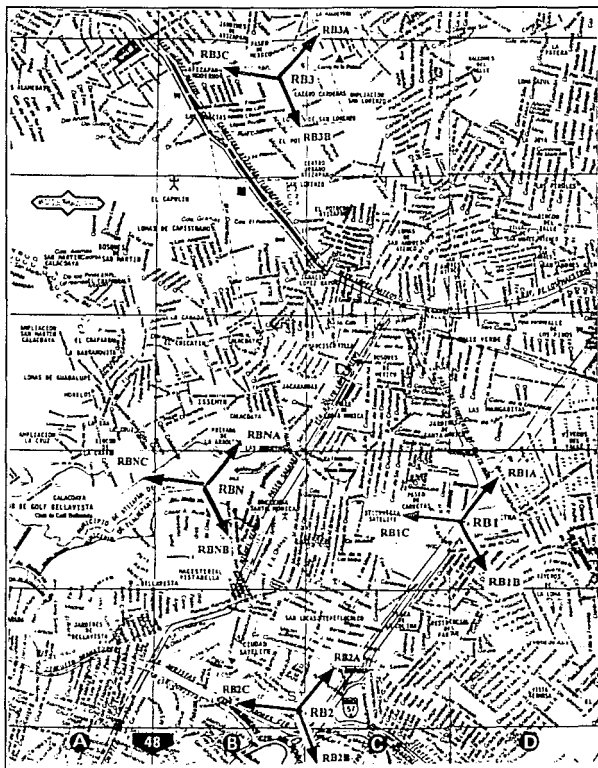


Figura III.4.6.2.- Dimensionamiento de radiobases, cuando el sistema se encuentra en expansión (cell splitting) o cuando estas formaran parte de un cluster (grupo).

Para el sector B de RBN:

$$RBNB = \frac{\frac{RB1C}{2} + RB2A + RB2B}{4}$$

Para el sector C de RBN:

Dado que este sector no tiene celulas vecinas y por lo tanto no hay datos de tráfico que puedan darnos información para dimensionar nuestra radiobase, se pueden tomar en consideración los siguientes factores:

El tipo nivel socioeconómico de la zona que deberá cubrir este sector.

Si el sector dará servicio en calles o avenidas principales que se considere existe un alto tráfico de abonados.

Si dentro del área de cobertura del sector se encuentran centros comerciales, clubs deportivos, fraccionamientos residenciales, unidades habitacionales.

Bajo estas condiciones se puede asumir que alguno o todos estos factores se han presentado ya en la instalación de alguna otra radiobase, de la cual se conoce las condiciones de tráfico para determinado número de canales.

Podemos considerar tambien, que deseamos que la radiobase entre en operacion al 80% de su capacidad; por lo que el resultado de las expresiones anteriores pueden ser divididas entre 0.8. Esto es.

Para el sector A al 80%.

$$\frac{RBNA}{0.8}$$

Para el sector B al 80%:

$$\frac{RBNB}{0.8}$$

Asumamos ahora, que el MTX tiene los siguientes datos de tráfico de las radiobases RB1, RB2, RB3:

Para el sector A de RB1 RB1A= 9.1032 Erlang.

Para el sector B de RB1 RB1B= 5.0020 Erlang.

Para el sector C de RB1 RB1C= 3.1483 Erlang.

Para el sector A de RB2 RB2A= 6.1500 Erlang.

Para el sector B de RB2 RB2B= 3.4816 Erlang.

Para el sector C de RB2 RB2C= 3.9573 Erlang.

Para el sector A de RB3 RB3A= 9.4000 Erlang.

Para el sector B de RB3 RB3B= 11.9866 Erlang.

Para el sector C de RB3 RB3C= 8.6570 Erlang.

Luego Entonces, el tráfico que pudiera acarrear nuestra radiobase RBN en cada uno de sus sectores será:

Para el sector A de RBN RBNA= 4.5203 Erlang.

Para el sector B de RBN RBNB= 2.8014 Erlang.

Para el sector C de RBN Se puede asumir como ya se mencionó, el tipo de zona en la que dará servicio esta radiobase.

Para este caso y como se observa en el mapa de la figura III.4.6.2, la cobertura del sector C será sobre una zona residencial de nivel socioeconómico alto, además de dar servicio a un club de golf. Luego entonces, podemos considerar también, que condiciones parecidas ya se han dado en la instalación de una radiobase de nuestro sistema en alguna otra parte de la ciudad. Bajo estas condiciones podríamos determinar, por ejemplo, que el número de canales iniciales para esta radiobase fuese de 12.

Ahora bien, si deseamos que nuestra radiobase entre en operación al 80% de su capacidad, los valores de tráfico para los sectores A y B serán:

$$RBNA = 3.6162 \text{ Erlang}$$

$$RBNB = 2.2411 \text{ Erlang}$$

Si el grado de servicio o congestión g.o.s. deseado fuese del 2%. Utilizando la Tabla III.4.4.1 de Erlang se obtiene, que el número de canales requeridos para cada sector de la radiobase RBN será:

8 radiocanales para el sector A.

6 radiocanales para el sector B

Y los 12 radiocanales para el sector C ya determinados anteriormente.

De la fórmula que define el monto de tráfico y considerando las especificaciones típicas de los abonados celulares determinados en el Tema III.4.1; la radiobase RBN podrá dar servicio a 109 subscriptores con el sector A, 67 subscriptores en el sector B y 200 subscriptores con el sector C, cada subscriptor acarreado un tráfico de 0.033 Erlang; lo cual da un total de 376 abonados celulares.

III.5.-PATRON CELULAR A SEGUIR

III.5.1.-CONSIDERACIONES BASICAS.

El objetivo de la planeación celular es cubrir un área de servicio al menor costo posible, alcanzando un alta capacidad de tráfico y permitiendo una máxima flexibilidad para el reuso de frecuencias con lo que se asegura un crecimiento posterior del sistema.

En otras palabras, se espera que un gran número de usuarios por km^2 puedan utilizar el sistema, mientras se mantiene un nivel aceptable de grado de servicio y de calidad de voz.

Existen varios términos como: tipo y tamaño de la célula, reuso de frecuencia, división de células, cluster de células y patrón celular que son comunes en la planeación celular y que se utilizarán más adelante.

A continuación se verá que tantas frecuencias se pueden asignar a una célula y como proceder a expandir el sistema celular.

El tamaño de la célula o el área de cobertura de una célula depende principalmente de los siguientes factores:

- Potencia de salida de el transmisor de radio.
- La banda de frecuencia utilizada.
- La altura y la colocación de la antena.
- El tipo de antena.
- La topografía del área
- La sensibilidad del receptor de radio.

La sensibilidad del receptor y la banda de frecuencias son fijas y por tanto sus limitaciones son conocidas.

Ajustando la potencia de salida de transmisión en la radiobase, la cobertura puede ajustarse en cierto grado a las necesidades de cobertura.

Las ondas de radio transmitidas desde una radiobase tienden a propagarse en "línea de vista", a través del aire. Esto significa que el móvil al estar localizado detrás de grandes obstáculos como montañas, en un túnel, etc. pueden encontrarse temporalmente "fuera del área de servicio", esto es, en una "sombra".

En los sistemas que comienzan con pocas radiobases, tal como sucede en las ciudades del interior de la República, se puede tener una cobertura eficiente con antenas colocadas en lugares altos combinados con grandes potencias de salida. En estos lugares, dado que la densidad de tráfico es muy baja, no es necesario el reuso de frecuencias ya que el número de canales disponibles es suficiente para cubrir la demanda existente. En estos sitios se colocan antenas de tipo omnidireccional que pueden cubrir áreas con un radio típico de 15 km. Las células omni tienen una capacidad de tráfico significativamente más alta que su equivalente sectorial, particularmente cuando se utiliza un pequeño número de canales (menor a 20). Las células omni son también más simples y más baratas que las sectoriales para cualquier número de canales por lo que resultan ser (temporalmente) una forma barata de aumentar la capacidad de tráfico.

Pero cuando la densidad de tráfico aumenta y los canales disponibles se comienzan a saturar, se hace necesario el reuso de frecuencias. Es entonces que se requiere el uso de un patrón celular que nos permita reutilizar frecuencias en las nuevas radiobases del sistema sin que se presenten problemas de interferencia tanto co-canal como de canal adyacente.

Teóricamente, los patrones celulares con el menor número de células pueden alcanzar las más altas densidades de tráfico pero son más susceptibles a la ubicación del sitio y al diseño. Por ejemplo, un patrón con cluster de 4 células no puede evitar la interferencia de canal adyacente sin utilizar antenas sectoriales (si se contempla el reuso de frecuencias). Por esta razón es más usual, aún cuando el patrón de 4 células sea el fin último, empezar con un patrón de 7 células, el cual es más flexible y puede incorporar algunas radiobases omnidireccionales.

Un patrón de 7 células sin sectorizar contiene algunas células que son físicamente adyacentes y a la vez tienen canales adyacentes. El problema de adyacencia puede confinarse a solo tres células y la sectorización de ellas es necesaria. En sistemas pequeños y en áreas cuyo terreno es irregular la sectorización no es obligatoria. El sistema de 12 células se diseñó para utilizarse con células omnidireccionales y no presenta de inmediato el problema de adyacencia.

Las localidades que utilizan las mismas frecuencias se denominan células co-canal. La separación mínima (D_s) requerida entre dos células co-canal cercanas se basa en especificar un nivel de interferencia co-canal aceptable, el cual es medido por la relación C/I , que como se había visto en el sistema AMPS, es de 18 dB mientras que D_s es de $4.6R$ y el número de células de reuso (ó factor de reuso) K es de 7. Esto significa que un cluster de siete células puede utilizar el espectro completo disponible. En cada una de los dos sistemas que ocupan la banda celular, hay 395 canales de voz (incluyendo banda extendida), por lo que cada célula tiene:

$$\frac{395}{7} = 56.4 = 57$$

canales en promedio. Mientras que si se sectoriza la célula se tiene

$$\frac{395}{7 \times 3} = 18.8 = 19$$

canales por sector y para un sistema de $K=4$ células de 6 sectores cada una:

$$\frac{395}{4 \times 6} = 16.4 = 16$$

canales por sector. Para los dos últimos valores no existe mucha diferencia en cuanto a la capacidad de radio entre las dos configuraciones celulares.

De las 333 frecuencias disponibles para cada sistema, además de las de la banda expandida, un grupo de canales (frecuencias) se utilizan en cada célula (normalmente entre 10 y 30 canales de voz distintos y un canal de control).

Los diferentes conjuntos de frecuencias siempre se colocan en células vecinas, pues para mantener una cobertura eficiente, las células se sobreponen ligeramente en sus orillas. Entonces para evitar los problemas de interferencia co-canal y de canal adyacente, se utiliza la distancia de repetición para mantener una distancia mínima antes de que pueda darse el reuso de frecuencias.

III.5.2.-ASIGNACION DE CANALES

Un grupo de células vecinas utilizando en su totalidad los 333 canales disponibles en la banda de frecuencias, es llamado un cluster o grupo de células. En otras palabras, no se da el reuso de frecuencias en el cluster. Pero otras células fuera del cluster si lo hacen puesto que no hay ya frecuencias disponibles.

Para el caso del patrón de 7 el cluster se forma con 7 células de tipo omni. Para el caso del patrón 7/21 el cluster se forma de 7 células sectoriales cada una de tres sectores.

En un cluster de 7 células, habrán 7 grupos de frecuencias (uno por cada célula). Estos grupos de canales se pueden denominar con letras, por ejemplo A,B,C,D,E,F y G.

En el cluster de 21 células las asignaciones se pueden hacer por ejemplo así (ver tabla III.5.2.1):

SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
A1	A2	A3
B1	B2	B3
C1	C2	C3
D1	D2	D3
E1	E2	E3
F1	F2	F3
G1	G2	G3

Tabla III.5.2.1.-Grupos de frecuencia para el patrón 7/21

Una vez que el sistema ha crecido lo suficiente como para que el número de radiobases existentes completen un cluster, se pueden asignar los canales como sigue (tabla III.5.2.2):

Canal 1 al grupo de A1	Canal 8 al grupo de A2	Canal 15 al grupo de A3
Canal 2 al grupo de B1	Canal 9 al grupo de B2	Canal 16 al grupo de B3
Canal 3 al grupo de C1	Canal 10 al grupo de C2	Canal 17 al grupo de C3
·	·	·
·	·	·
·	·	·
Canal 7 al grupo de G1	Canal 14 al grupo de G2	Canal 21 al grupo de G3

Tabla III.5.2.2.-Asignación de canales en el patrón 7/21

Para el canal 22 se vuelve a comenzar la secuencia de asignación por lo que cada grupo de frecuencias contiene de 14 a 15 canales de voz, (más otros 4 canales si se utiliza la banda

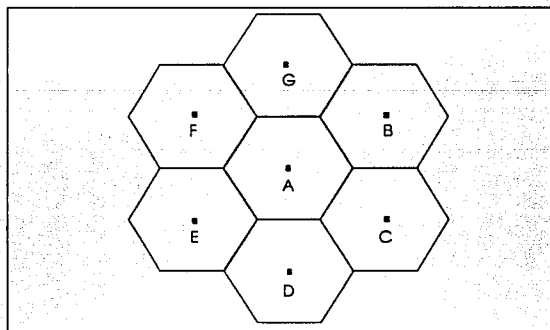


Figura III.5.2.1.-Cluster básico

extendida) además de su canal de control con una separación de 21; evitándose así la interferencia de canal adyacente en el cluster, que de otra manera tendería a darse en la célula.

El cluster completo se puede representar de varias formas pero, como una herramienta para visualizar el patrón de frecuencias, se diseñó el plan celular de tipo hexagonal el cual se puede observar en la figura III.5.2.1.

Mientras que la tabla completa para el sistema B se observa a continuación, figura III.5.2.2

III.5.3.-PLAN DE EXPANSION SUCESIVA.

Como ya se había visto se puede dar como un primer paso el introducir una célula de tipo omnidireccional con antenas situadas a gran altura (30 a 40 [m]) y con potencia de salida máxima para conseguir un rango de cobertura de, digamos, 20 [km].

De acuerdo con la estructura del cluster ya definida con anterioridad este sitio podría sectorizarse y usar los grupos de frecuencia, por ejemplo, de A (A1,A2 y A3); consecuentemente se limitaría a 45 canales de voz y 3 de control (o, con el uso de la banda extendida, hasta 57 canales de voz).

Para proveer de mayor capacidad dentro de la misma cobertura, se pueden agregar tres sitios sobrepuestos en el centro de las células sectoriales originales como se ve en la figura III.5.3.1. Estos tres nuevos sitios trabajarán temporalmente como células omni pero pueden reemplazarse después con células sectoriales cuyos grupos de frecuencia no generen interferencia de canal adyacente con las células originales. Se pueden usar, por ejemplo, los grupos B1 para el sector A, D1 para el sector B, y F1 para el sector C.

C.C.	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354
	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396
	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417
	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438
	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459
	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501
	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522
	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543
	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564
	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585
	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606
	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627
	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648
	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669
	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711
	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732
	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753
	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774
	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795
	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816

Figura III.5.2.2.-Tabla de reusos de frecuencia típica. Incluye banda extendida

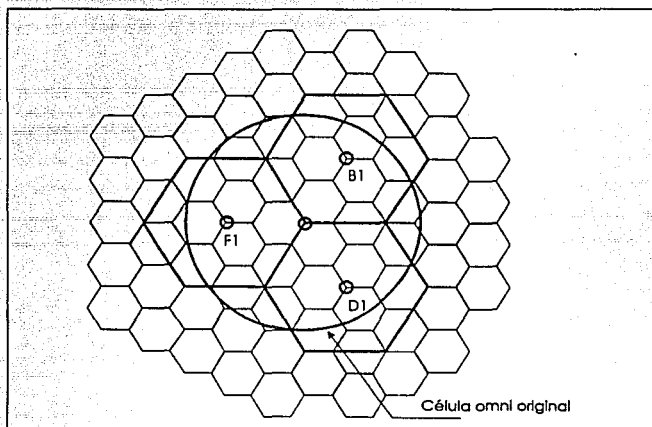


Figura III.5.3.1.-Sitio con el grupo de frecuencias de A y las tres células omni superpuestas a cada sector

Si se observa con cuidado la figura III.5.2.4 se observará que la distancia de canales entre estos grupos es lo suficientemente grande para mantener una buena calidad de servicio. La capacidad en este momento se incrementará en otros 45 canales.

El siguiente paso es darle más capacidad al área central que a los alrededores; la cobertura del sitio con el grupo de A se reduce al bajar la potencia de salida para cubrir el área central. Los tres sitios que originalmente se encontraban en el centro de cada célula, se dedican ahora a dar servicio principalmente en el área suburbana aunque también, y de manera incidental, lo hacen en la zona central (ver figura III.5.3.2).

Después se realiza la sectorización de las células exteriores asignándole los grupos completos de B, D y F respectivamente. Al ir aumentando la densidad de tráfico se pueden colocar tres nuevos sitios (cuyos grupos de frecuencia serán C, E y G) en las zonas donde se

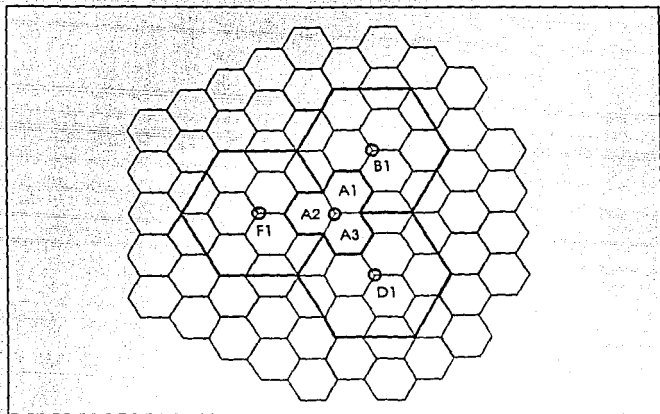


Figura III.5.3.2.-Se aumenta la capacidad en el área central al disminuir la cobertura del sitio A.

intersectaban dos de las células del grupo A original, de modo que cuando se decremente la cobertura de los sitios con grupos B, D y F se tenga un cluster completo como se muestra en la figura III.5.3.3.

El hecho de realizar un split o división de células grandes en muchas células pequeñas implica que la distancia de repetición para el reuso de frecuencias, se vuelve más corta y que el número de canales dentro de una misma área geográfica se incrementa, lo cual a su vez incrementa la capacidad del sistema.

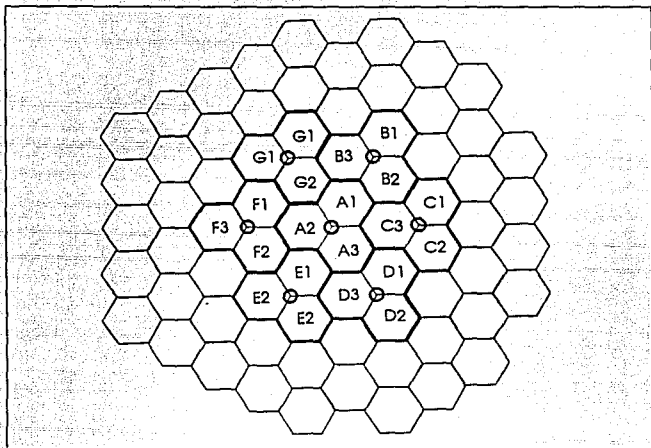


Figura III.5.3.3.-Cluster completo a partir de una célula sectorial

III.5.4.-CONSIDERACIONES PRACTICAS

La forma en que la planeación de un área geográfica se realiza depende de las necesidades de cobertura y de la demanda de servicio en ciertas zonas ya que el tráfico no se distribuye de manera uniforme.

Entonces, el primer paso es generar un *grid* o reticulado que cubra el área completamente; a partir de este se formarán cluster a los cuales denominaremos como de *primera fase*.

El grid tiene líneas paralelas con una orientación a 30 y 270 grados (dependiendo de la orientación de los sectores que se haya escogido). En la intersección entre dos líneas se tiene el

posible sitio para instalar una nueva radiobase, de modo que al ir creciendo el sistema se puedan formar más clusters.

El cluster *central* o *principal* tendrá la forma de una célula y en cuyo centro se colocará el centro del grid. A partir de este centro se realizará el patrón celular, por lo que no podrá cambiarse a menos que se quiera realizar un cambio completo a la asignación de frecuencias del sistema.

En cada uno de los vértices del cluster se ubica una radiobase y se le asigna un grupo de frecuencias, de acuerdo con el siguiente patrón. ver figura III.5.4.1

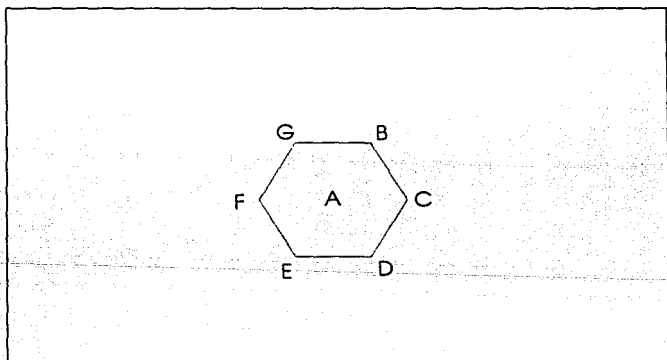


Figura III.5.4.1.-Cluster central. Cada grupo de frecuencia contiene tres células sectoriales.

La forma en que se acomodan los sectores de cada célula se ve en la figura III.5.4.2; para el caso de el grupo de A se realiza un reacomodo de sus frecuencias que se explica más adelante.

El grid a partir del cual se forma el cluster se muestra en la figura III.5.4.3. Este se debe generar a la misma escala del mapa donde se tenga el área de cobertura deseada. Posteriormente

el gríd se imprime en un *Plotter* (graficador en base a plumillas) sobre un pliego de papel albanene. Después se sobrepone el gríd en el mapa y se localizan las áreas geográficas donde se instalará una nueva radiobase. Para esta primera fase las líneas que forman el gríd se les puede asignar un mismo color.

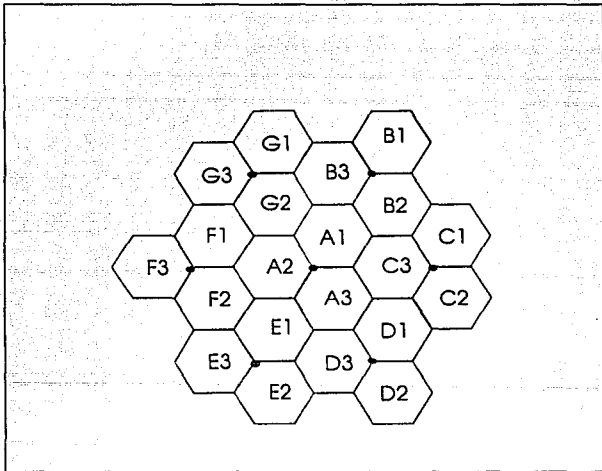


Figura III.5.4.2.-Cluster central. Las estaciones base se representan como puntos.

A partir de este cluster central, se generan más clusters de primera fase a su alrededor tomando en cuenta la separación mínima para reusos de frecuencia D que como sabemos es de

4.58 veces el radio de la célula (ver figura III.5.4.3). La asignación de frecuencias es igual a la del cluster central.

Una forma práctica de generar los centros de cluster alrededor del centro del grid se muestra en la figura III.5.4.4 donde se toma la distancia S del centro a uno de sus vértices, se gira 120° a la derecha y se toman dos veces la distancia S en esa dirección, para ubicar el siguiente centro de cluster.

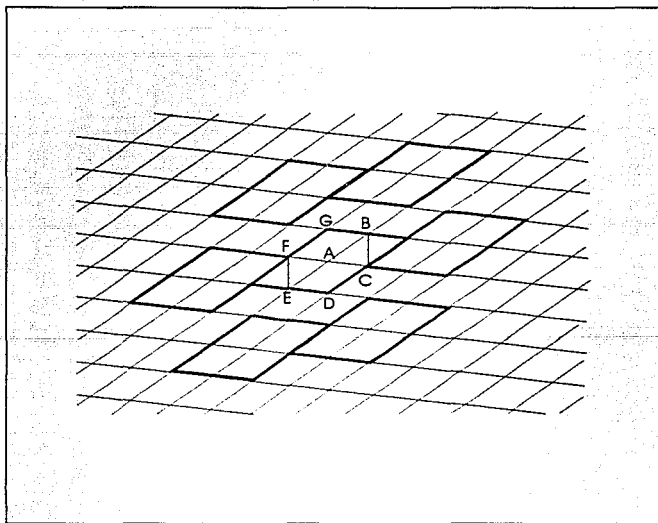


Figura III.5.4.3.-Grid con clusters de primera fase.

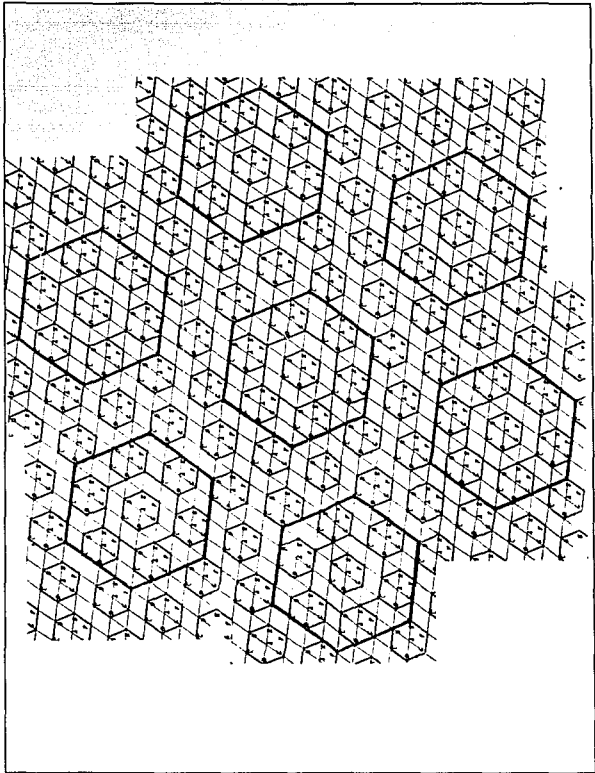


Figura III.5.4.4.-Formación de cluster grande entre dos de ellos existe un cluster mediano

Cuando el tráfico continua creciendo en una zona y se hace necesario aumentar el número de canales se pueden generar los llamados clusters de *segunda fase* que se forman al intercalar líneas paralelas y equidistantes a las del grid original (dichas líneas se pueden dibujar en el Plotter con un color distinto a las del grid original) ver figura III.5.4.5; de modo que ahora un cluster de primera fase ocupa cuatro líneas, mientras que un cluster de segunda fase ocupa solo dos.

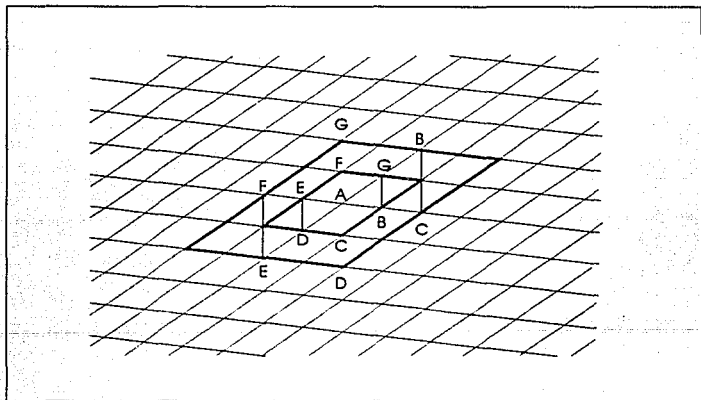


Figura III.5.4.5.-Generación de un cluster de segunda fase a partir del grid original.

La asignación de frecuencias en el cluster mediano se realiza al rotar 120° en sentido horario el cluster grande pero manteniendo el mismo centro del grid.

Si la congestión de canales sigue en aumento, se vuelve a introducir líneas equidistantes al grid de segunda fase (con otro color) para generar los llamados clusters de *tercera fase*. Esto es con el objeto de intercalar nuevas radiobases a las ya existentes y evitar que estas últimas requieran de un incremento o *expansión* de canales lo que a la larga provocaría mayores

problemas de interferencia co-canal; ya que un sector con más de dos grupos de frecuencia impediría lograr el aislamiento de frecuencias deseado con sus radiobases vecinas así como también impediría la posibilidad de asignar frecuencias en esa región sin causar interferencia y corte de llamadas. La asignación de frecuencias para cada tipo de cluster se encuentra resumida en la figura III.5.4.6

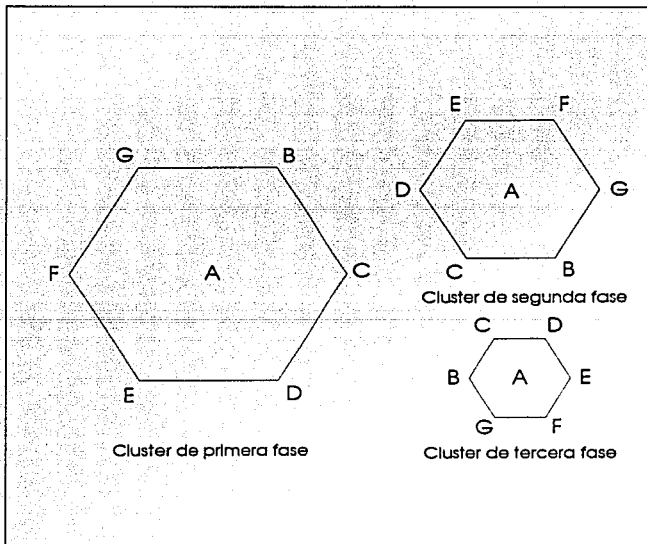
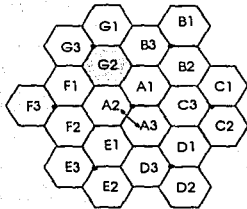
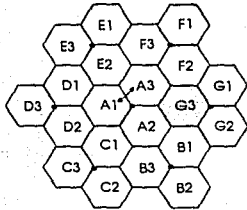


Figura III.5.4.6.- Asignación de frecuencias para cada tipo de cluster.

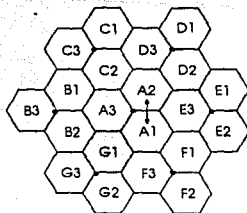
En el caso de un cluster grande se intercambian los grupos de frecuencia entre los sectores B y C de la célula A (grupos de frecuencia A2 y A3) ya que como en la tabla de reusos los grupo G2 y A3 son contiguos, se podrían dar problemas de interferencia de canal adyacente. Para el caso de un cluster mediano, se intercambian los grupos A1 y A3 para evitar interferencia de canal adyacente con G3, mientras que para un cluster chico se intercambian los grupos de A1 y A2 para evitar problemas con el grupo de G1 (ver figura III.5.4.7).



CLUSTER DE PRIMERA FASE



CLUSTER DE SEGUNDA FASE



CLUSTER DE TERCERA FASE

Figura ILLS.4.7.-Reasignación de frecuencias para el grupo A dependiendo del tipo de cluster utilizado.

III.6.- PLAN Y RE USO DE FRECUENCIAS.

III.6.1.- PLANEACION CELULAR.

El objetivo de la planeación celular es el cubrir una área de servicio tan económicamente como sea posible, siguiendo la máxima flexibilidad para el futuro re uso de frecuencias. Por lo cual para analizar el patrón de frecuencias, el patrón hexagonal utilizado comúnmente en telefonía celular ha sido dispuesto.

En la realidad cualquier onda de radio no se propaga hexagonalmente, como se tiene en teoría, y dado que al ser esféricas sus células se traslapan en el espacio de igual forma. Por lo cual en algunos casos el diseño de patrones internacionales ha podido ser realizado.

III.6.2.- CONSIDERACIONES BASICAS.

El más común patrón celular envuelve la partición disponible dentro del espectro en 3,4,7 ó 12 células de diferentes frecuencias, cada una usando un esquema hexagonal para definir la posición relativa de los sitios base. La técnica de "No re usar las frecuencias" es una técnica sólo utilizada o reservada para pequeñas y remotas áreas de servicio. Contrariamente a los muchos sistemas celulares, que se tienen actualmente, los cuales son propuestos para evitar la interferencia de canales adyacentes. El primer requerimiento que se debe de cuidar es la adyacencia entre canales los cuales deben ser tan lejanos como sea posible, no pudiendo estar localizados como células vecinas.

La selección del sitio celular no debe ser influenciada por planes hipotéticos como se muestra en la figura III 6.1. Por lo que usando la planeación celular se podrá determinar la locación de la mejor frecuencia para ser usada en una célula así como seleccionar el sitio en circunstancias reales.

Teóricamente la planeación celular con un pequeño número de celdas puede ser aproximado a suscriptores con alta densidad de tráfico, pero es más útil para localización y diseño de sitios celulares. Por ejemplo el plan de 4-Células no puede interferirse con el problema

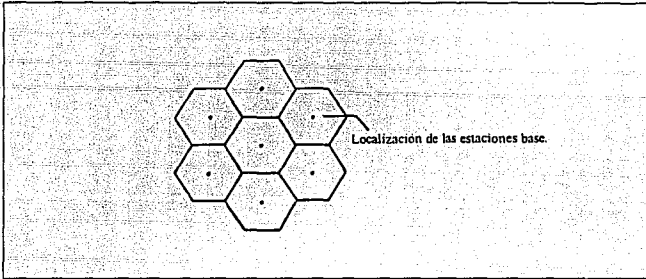


Figura III.6.1.- Esquema hexagonal para la localización de las Estaciones Base.

de canal anterior adyacente. Sin usar antenas sectoriales (si el re uso de frecuencias es contemplado). Por esta razón, esto no es usual, donde un plan de 4-Células es la última salida. Para empezar un plan de 7-Células, el cual es más flexible y puede en algunas ocasiones incorporar algunas radiobases omnidireccionales es utilizado.

Un plan de 7-Células tiene entre sus células dos que son físicamente adyacentes y por tanto tienen canales adyacentes. El problema de adyacencia puede ser confinado únicamente a tres celdas, y la sectorización de estas tres puede ser necesaria. En sistemas pequeños y áreas de terreno irregular es algunas veces posible, dado que se puede evitar la sectorización conjunta.

El plan de 12-Células es designado para usar células omnidireccionales y no tiene problemas inmediatos de adyacencia. Por que cada célula de este plan esta basada en un esquema hexagonal

el cual es posible cambiar por otro manteniendo un simple arreglo de asignación de frecuencias. Pero con la consideración de que esto puede ser no muy simple en un sistema trabajando.

III.6.3.- EL PATRON DE 7-CELULAS.

El patrón celular más comúnmente usado es el que utiliza 7-Células, el cual puede ser subdividido aún más en una figura de 21-Células (Sectores). La figura III.6.2 muestra el comúnmente adoptado patrón de 7 células. Como se puede ver en esta figura a pesar de realizar un esfuerzo por separar los canales adyacentes, los pares D,C y D,E son adyacentes.

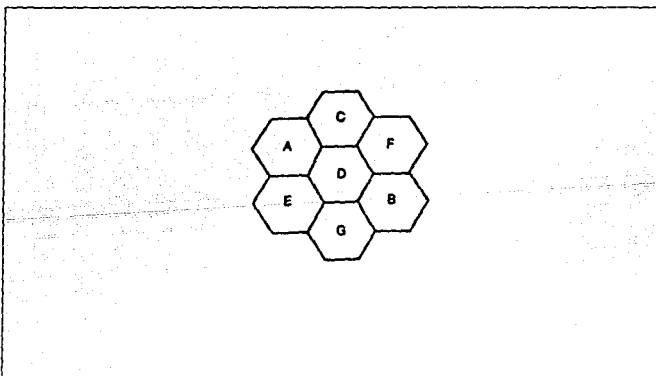


Figura III.6.2.- Distribución celular ordenadas alfabéticamente cuidando la adyacencia (Nota. al terminar el ordenamiento la célula A es adyacente de la célula F).

El cuidado en la planeación de frecuencias puede reducir substancialmente el costo de nuevas instalaciones. Por ejemplo, los pares de canales adyacentes D,C y D,E podrían reducirse

por último a que los sitios fueran sectoriales para tener una mejor separación. Para sistemas relativamente pequeños, cualquiera sectorizando en las etapas tempranas pueden evitar problemas posteriores. Estos sitios pueden ser instalados como sitios omnidireccionales en sus inicios proporcionando baja asignación de frecuencias para la celda D y altas frecuencias asignadas para las celdas C y E (o viceversa). Dado que si cada célula tiene 7 canales, estos podrían ser alojados como se muestra en la tabla III.6.1. Dicha planeación de frecuencias trabaja sólo con estaciones bases que se encuentran a menos del 50 % de su capacidad máxima de canales, y estas pueden retardar la necesidad de una sectorización costosa por algunos años. Algunas estaciones base pueden ser programadas preferentemente escogiendo unos o algunos números de canales para resolver los problemas de adyacencia los cuales pueden únicamente ocurrir cuando se utilicen más de la mitad de los canales instalados. Estas dos técnicas de subdivisión de células y uso de unos o algunos canales pueden ser combinados.

CELULAS	D1	C1	E1
Canales	4	192	194
	25	213	215
	46	234	236
	67	255	257
	88	276	278
	109	297	299
	130		
Canal de Control	316	315	317

Tabla III.6.1.- Colocación de la parte baja para los canales del grupo D y la parte alta para los canales de los grupos C y E para evitar los problemas de adyacencia en sistemas pequeños.

Sectorizando en más subdivisiones de grupos de canales y previendo los elementos de canales adyacentes en cuanto a la interferencia es la técnica desarrollada cuando las estaciones base sobrepasan el 50 % de la utilización de canales, la Tabla III.6.2 y III.6.3 muestra los grupos de canales subdivididos para las diferentes bandas comerciales como se muestra en la figura

III.6.3 , un sitio es sectorizado. Para reducir el problema de adyacencia contando con los patrones que presentan las antenas.

La sectorización puede ser utilizada para sistemas celulares grandes como lo muestra la figura III.6.3 teniendo una célula central como lo muestra la figura III.6.4.

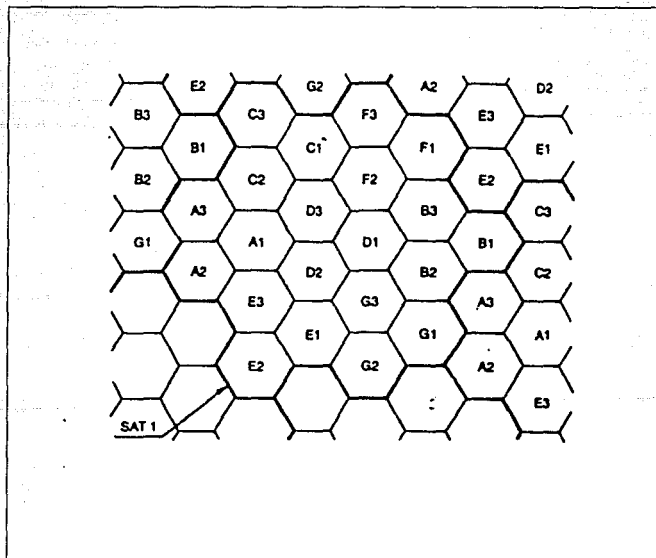


Figura III.6.3.- Plan celular de la sectorización de sitios, teniendo en cuenta la adyacencia de canales con la sectorización requerida.

Grupo	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	
Ch de Control	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	
Ch de voz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	
	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	
	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	
	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	
	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	
	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	
	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	
	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	
	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	
	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	
	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	
	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891
	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912
	912	913	914	915	916	917																
							991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	
	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023				

Tabla III.6.2.- Banda A

Grupo	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	
Ch de Control	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	
Ch de voz	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	
	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	
	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	
	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	
	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	
	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	
	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	
	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	
	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	
	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	
	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	
	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	
	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	
	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	
	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666				
							717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732
	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	
	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	
	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	
	796	797	798	799																		

Tabla III.6.3.- Banda B

La figura 6.5 muestra un esquema celular basado en el sitio D manteniéndolo como célula central y como se observa en la figura la rotación del resto de las células alrededor de la célula D en donde el resto del patrón es ordenado a 120 grados, teniendo en las nuevas células la mitad de la célula original.

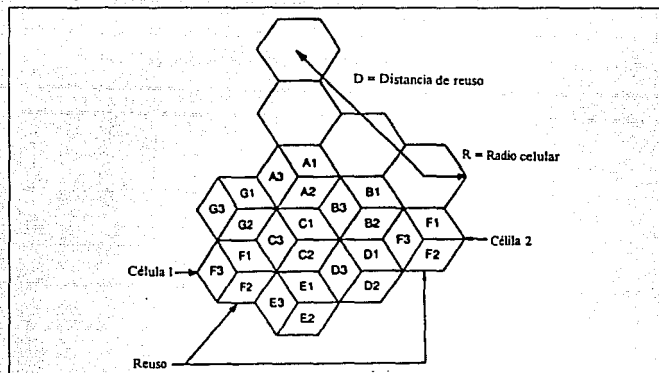


Figura III.6.4.- Patrón celular de 7-Células (sectorizando en el centro de las células)

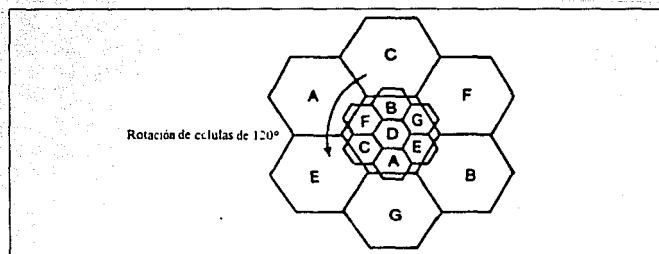


Figura III.6.5.- Orientación celular ordenado a 120.

III.6.4.- CODIGOS DE SAT.

El sistema AMPS tiene un código de SAT (Tono Supervisor de Audio) que es un tono de 6 KHz de frecuencias de 5910, 6000 y 6030. Las cuales son transmitidas en los canales de voz. Estos tonos son usados para identificar el tráfico local de una célula con interferencia de tráfico adyacente. El SAT es generado por la estación base y se trasmite de regreso en un loop vía el circuito móvil. La localización de los SAT es muy simple, siguiendo las reglas de celdas adyacentes en los arreglos posicionando los diferentes SAT's. Unicamente se tienen tres SAT's : SAT 0, 1 y 2 como se muestra en la figura III.6.6 como cada arreglo de células intersecta solamente otras dos células las uniones de las celdas marcadas con líneas triples deben tener diferente SAT como se muestra en la figura III.6.6a, la condición de todas las células adyacentes es que deberían de tener diferente SAT, lo cual es suficiente para determinar todas las asignaciones de SAT designadas.

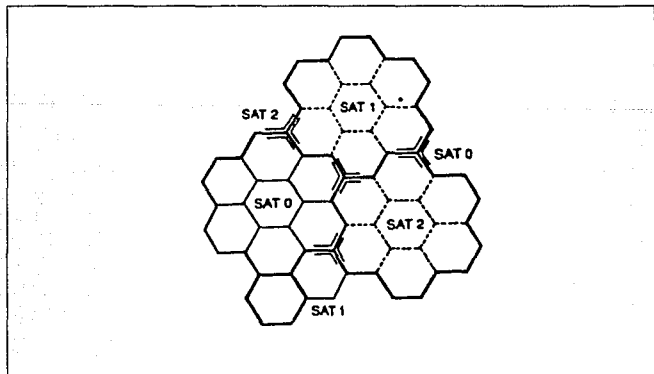


Figura III.6.6.- Localización de los SAT's para evitar los problemas de adyacencia.

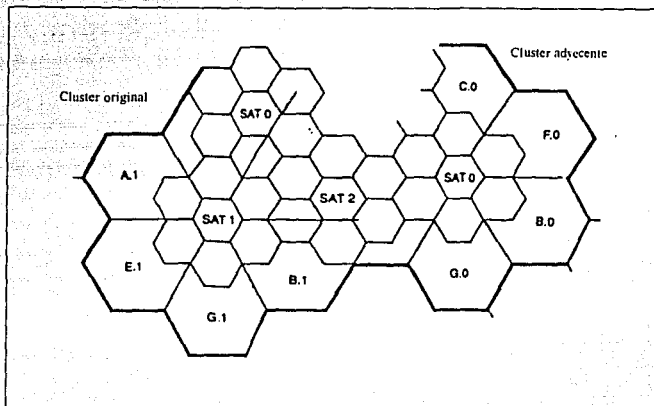


Figura III.6.6a.- Esquema celular para dos clusters adyacentes.

III.6.5.- CODIGO DIGITAL DE COLORES (DCC).

El código digital de colores (DCC) es un identificador similar al SAT, excepto que el DCC es aplicable para los canales de control. Para este caso se tienen 4 diferentes códigos de DCC: 0, 1, 2, y 3. Como se muestra en la figura III 6 7, aleatoriamente alojados de manera no adyacente colocados en los arreglos celulares que determinan el resto del patrón. Cada célula puede ser visualizada estando en el centro de un arreglo de 7-Células (Esto es alrededor de 6 células más). Si la Célula D es la que es considerada primeramente para ser el centro del arreglo celular (Arreglo 1) y el DCC es aleatoriamente asignado, tenemos $D=3$, $C=0$, $F=1$ y $B=2$. Por lo que repitiendo el patrón alrededor de la asignación teniendo un arreglo de 7 células (Arreglo N). Para

la aplicación del mismo patrón, las asignaciones para las células X, Y y Z pueden ser encontradas. Continuando hasta terminar con todos los DCC's siendo alojados. ($X=1$, $Y=3$ y $Z=0$).

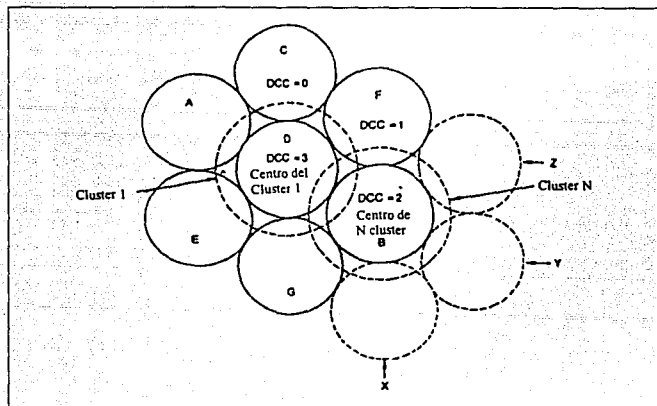


Figura III.6.7.- Localización del código digital de colores.

El procedimiento de expansión celular tiene un camino similar al descrito anteriormente, expandiendo lo que hasta ahora se tenía como las células centrales, lo que significa que la reorganización de la primera célula puede ser aleatoria pero para células futuras son vistas como la primera.

III.6.6.- PATRON CELULAR DE 4-CELULAS.

El patrón de 4-Celulas es realmente un patrón de $4/12$ ó $4/24$ esto significa que las células son agrupadas dentro de 4 planes de frecuencias con 12 ó 24 sectores. El patrón de 4 células usa también 6 antenas de 60° o 3 de 120° en un sitio común. Este arreglo produce los 24 sectores (6 sectores de 4 células) y 12 sectores un patrón de (3 sectores por 4 células). respectivamente, la figura III.6.8 muestra el patrón de las 24 células.

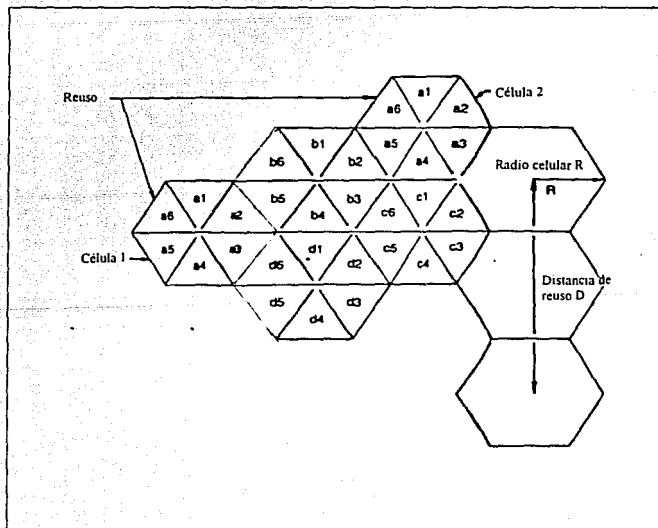


Figura III.6.8.- Patrón de 4-Células.

III.6.7.- PATRON DE 12-CELULAS.

Comúnmente es usado en patrones de 12 células, el cual tiene buena relación de portadora sobre interferencia cuando los sitios son omnidireccionales. Las células individuales en estas configuraciones son muy pequeñas, cualquier tráfico de eficiencia es correspondientemente baja. La figura III.6.9 muestra el patrón celular de 12 células.

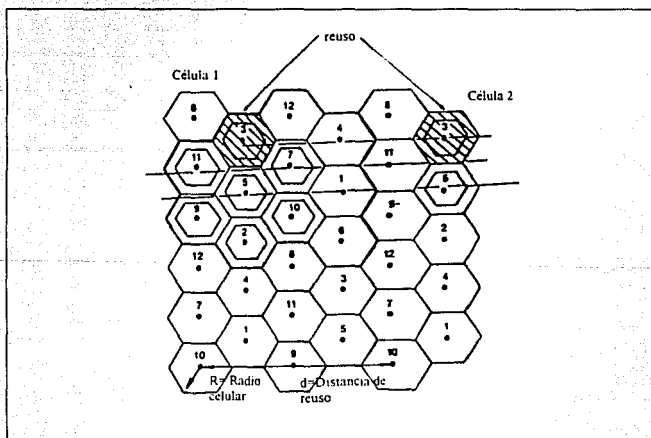


Figura III.6.9.- Patrón de 12-Celulas.

III.6.8.- EL MODELO DE ESTOCOLMO.

El modelo de anillo de Estocolmo esta siendo usado en sistemas NMT450, originalmente en Estocolmo, y más tarde en otros países. Esta técnica fue diseñada para responder a una alta densidad de tráfico en la central de Estocolmo. Usando una completa diferencia en el convencional patrón hexagonal.

El anillo de Estocolmo intenta incrementar la capacidad CDB por el uso de todos los frecuencias disponibles en el sitio central. NMT450 tiene 180 frecuencias y el plan divide estos canales dentro de 6 sectores de 60° en cada sector, como se muestra en la figura III.6.10. Un sitio cercano implica la utilización de todas las frecuencias en buena forma en los canales adyacentes contando con la mayor separación que sea posible. Este requerimiento por supuesto, limita esta técnica para un sistema de baja desviación.

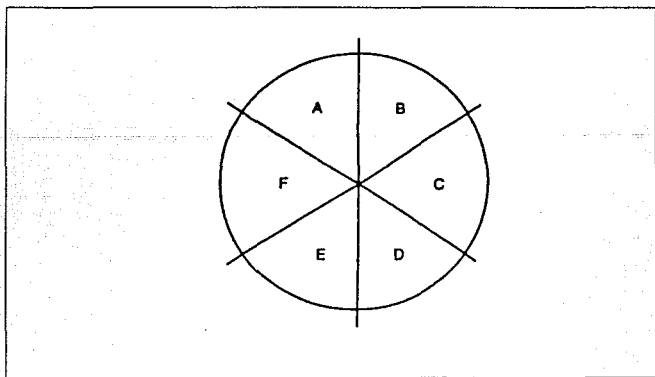


Tabla III.6.10 6.- sectores de 60 grados.

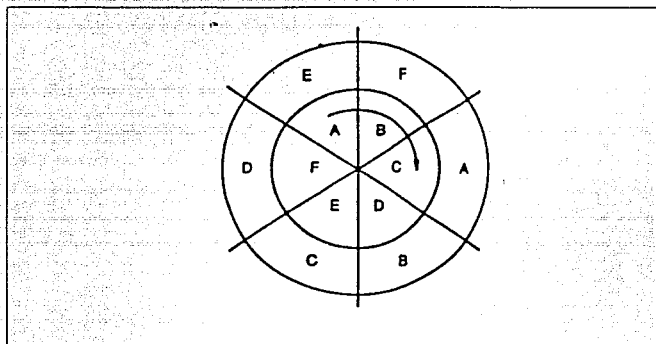


Tabla III.6.11.- Primer patrón de expansión.

La figura III.6.11 muestra la próxima expansión hacia afuera, usando un anillo concéntrico con todas las frecuencias rotadas 120°. Una expansión celular ocurre de la CBD, de un patrón ancho de antenas acomodando una baja densidad de eficiencia.

III.6.9.- DISTANCIA DE RE USO DE FRECUENCIAS.

La distancia mínima para alojar la misma frecuencia en dos células es decir para ser re usada depende de muchos factores, entre los cuales se tiene número de células cocanal en la vecindad de la célula central, el contorno o tipo de terreno geográfico, la altura de la antena y la transmisión de potencia en cada sitio.

Donde de manera general la distancia D para el re uso de frecuencias puede ser determinada por la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{3k} \cdot R$$

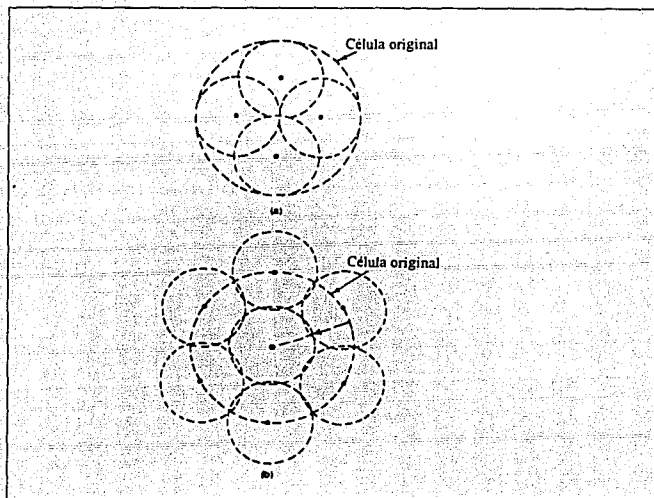


Figura III.6.12.- Esquema celular.

Donde k es el re uso de frecuencia mostrado en el patrón de la figura 2.2 teniendo la siguiente tabla para los diferentes sistemas:

$$D = \begin{cases} 3.46R \Rightarrow k = 4 \\ 4.6R \Rightarrow k = 7 \\ 6R \Rightarrow k = 12 \\ 7.55R \Rightarrow k = 9 \end{cases}$$

Si todos los sitios transmisores se regulan a la misma potencia, la k se incrementa y la distancia D se incrementa con los re usos de frecuencias. El incremento en D reduce la posibilidad de que la interferencia cocanal pueda ocurrir.

Por otro lado cuando la densidad de tráfico comienza a incrementarse y las frecuencias asignadas a los canales de cada sitio no proporciona la capacidad demandada es necesario el sectorizar dentro de células más pequeñas, donde los nuevos radios de las células son la mitad de su radio original como lo muestra la figura III.6.12. Donde se presentan dos caminos para tales esquemas la figura III.6.12a la cual ya no es utilizada y la figura III.6.12b la cual muestra como se tiene la sectorización requerida.

$$\text{Nuevo radio celular} = \text{Radio anterior}/2$$

$$\text{Nueva área celular} = \text{Área anterior}/4$$

Teniendo el comportamiento del tráfico en la siguiente forma:

$$\text{Nuevo tráfico demandado/Unidad de área} = 4 * (\text{Carga de tráfico} / \text{Unidad de área})$$

III.7.- ALTERNATIVA DEL USO DE LA BANDA EXPANDIDA.

III.7.1.- ADMINISTRACION DE FRECUENCIAS.

La función del manejo de frecuencias es el dividir el número total de canales disponibles dentro de grupos, los cuales pueden ser asignados a cada célula, en respuesta al tráfico demandado. El término "Manejo de frecuencias" y "Asignación de canales" algunas veces crea confusión, El manejo de frecuencias se refiere a la designación de canales de voz y control que la FCC realizó, así como la numeración de los canales (realizado por la FCC), y agrupando los canales de voz dentro de grupos (realizado por cada sistema de acuerdo a su preferencia), esta asignación de canales se refiere a la localización de canales específicos para sitios celulares y unidades móviles. La fijación de canales consiste de uno o más grupos (ver figura III.7.1) siendo asignados a un sitio celular básicamente en un término. Durante una llamada con un canal particular asignado a una unidad móvil y la asignación por canal manejada por los teléfonos móviles en la central celular, idealmente manejando que la asignación de los canales pueda ser basada para causar la menor interferencia posible en el sistema.

III.7.2.- NUMERACION DE CANALES.

El número total de canales a (Enero de 1988) es de 832. pero más unidades móviles y sistemas están hasta ahora operando con 666 canales. Discutiendo los 666 canales como sigue. Un canal consiste de dos canales o anchos de banda, uno en la parte baja y la otra en la parte alta, las dos frecuencias para el canal 1 son 825.030 MHz (transmisión del móvil) y 870.030 MHz (transmisión del sitio celular). Así las dos frecuencias para canal 666 son 844.98 MHz (Para la transmisión del móvil) y 889.98 MHz (Para la transmisión del sitio celular). Los 666 canales son confinados dentro de dos grupos: La banda del bloque A y la banda del bloque B. Dado que los

distintos mercados de cada ciudad tienen 2 sistemas por políticas comerciales, cada bloque cuenta con 333 canales como lo muestra la figura III.7.1.

Los 42 subgrupos de canales son asignados de la siguiente forma:

Bloque B del Sistema	Bloque A del Sistema
294	1A
295	2
296	3A
297	4A
298	5A
299	6A
300	7A
301	8
302	9
303	10
304	11
305	12
306	13
307	14
308	15
309	16
310	17
311	18
312	19
313	20
314	21
315	22
316	23
317	24
318	25
319	26
320	27
321	28
322	29
323	30
324	31
325	32
326	33
327	34
328	35
329	36
330	37
331	38
332	39
333	40
334	41
335	42
336	43
337	44
338	45
339	46
340	47
341	48
342	49
343	50
344	51
345	52
346	53
347	54
348	55
349	56
350	57
351	58
352	59
353	60
354	61
355	62
356	63
357	64
358	65
359	66
360	67
361	68
362	69
363	70
364	71
365	72
366	73
367	74
368	75
369	76
370	77
371	78
372	79
373	80
374	81
375	82
376	83
377	84
378	85
379	86
380	87
381	88
382	89
383	90
384	91
385	92
386	93
387	94
388	95
389	96
390	97
391	98
392	99
393	100
394	101
395	102
396	103
397	104
398	105
399	106
400	107
401	108
402	109
403	110
404	111
405	112
406	113
407	114
408	115
409	116
410	117
411	118
412	119
413	120
414	121
415	122
416	123
417	124
418	125
419	126
420	127
421	128
422	129
423	130
424	131
425	132
426	133
427	134
428	135
429	136
430	137
431	138
432	139
433	140
434	141
435	142
436	143
437	144
438	145
439	146
440	147
441	148
442	149
443	150
444	151
445	152
446	153
447	154
448	155
449	156
450	157
451	158
452	159
453	160
454	161
455	162
456	163
457	164
458	165
459	166
460	167
461	168
462	169
463	170
464	171
465	172
466	173
467	174
468	175
469	176
470	177
471	178
472	179
473	180
474	181
475	182
476	183
477	184
478	185
479	186
480	187
481	188
482	189
483	190
484	191
485	192
486	193
487	194
488	195
489	196
490	197
491	198
492	199
493	200
494	201
495	202
496	203
497	204
498	205
499	206
500	207
501	208
502	209
503	210
504	211
505	212
506	213
507	214
508	215
509	216
510	217
511	218
512	219
513	220
514	221
515	222
516	223
517	224
518	225
519	226
520	227
521	228
522	229
523	230
524	231
525	232
526	233
527	234
528	235
529	236
530	237
531	238
532	239
533	240
534	241
535	242
536	243
537	244
538	245
539	246
540	247
541	248
542	249
543	250
544	251
545	252
546	253
547	254
548	255
549	256
550	257
551	258
552	259
553	260
554	261
555	262
556	263
557	264
558	265
559	266
560	267
561	268
562	269
563	270
564	271
565	272
566	273
567	274
568	275
569	276
570	277
571	278
572	279
573	280
574	281
575	282
576	283
577	284
578	285
579	286
580	287
581	288
582	289
583	290
584	291
585	292
586	293
587	294
588	295
589	296
590	297
591	298
592	299
593	300
594	301
595	302
596	303
597	304
598	305
599	306
600	307
601	308
602	309
603	310
604	311
605	312
606	313
607	314
608	315
609	316
610	317
611	318
612	319
613	320
614	321
615	322
616	323
617	324
618	325
619	326
620	327
621	328
622	329
623	330
624	331
625	332
626	333

Figura III.7.1.- Manejo de las frecuencias.

Del canal 313 al 333 en el bloque A.

Del canal 334 al 354 en el bloque B.

Los canales de voz son asignados de la siguiente forma:

Del canal 1 al 312 (312 canales de Voz) bloque A.

Del canal 355 al 666 (312 canales de Voz) bloque B.

Los dos bloques son asignados de igual forma para las dos bandas. El número de canales sumados en el espectro adicional es el que muestra la figura III.7.2 donde 166 canales son adicionados y asignados para ambos grupos.

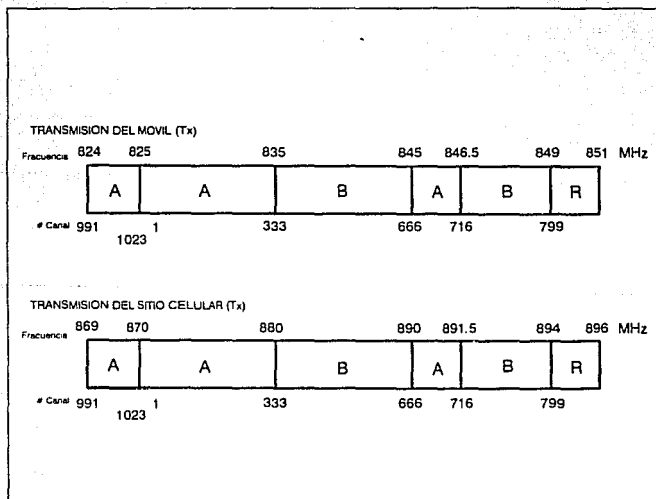


Figura III.7.2.- Localización del espectro adicional a la banda celular.

III.8.-PRUEBAS OPERATIVAS Y AJUSTES

III.8.1.-PRUEBAS DE INTERFERENCIA.

La interferencia se produce principalmente desde el móvil hacia el receptor de la estación móvil. Sin embargo, en ocasiones, la interferencia se produce entre dos estaciones base.

Todos los sistemas están propensos a la pérdida de datos debidas a la interferencia cocanal. (el cocanal es un canal con la misma frecuencia pero que opera en sitios diferentes). Los sistemas AMPS y TACS son más propensos a la interferencia de canal adyacente.(ver tema 1.3.3).

Hasta cierto punto, dichas clases de interferencia son problemas potenciales en cualquier tipo de sistema celular (tanto digital como análogo).

Un móvil puede no reconocer alguna instrucción de la radiobase que la sirve si se produce la pérdida de algún dato por la interferencia de otra radiobase. Para que la interferencia se produzca, la diferencia en los niveles de las dos señales debe ser mayor a 18 dB en el caso del sistema AMPS. Si la separación es mayor, la señal dominante prevalece.

Los planes de frecuencia procuran mantener la máxima distancia entre células con canales adyacentes. En el caso de radiobases sectoriales los sectores con canales adyacentes se orientan en forma paralela y se evita que estos se apunten de frente ver fig. III.8.1. Con ello se reduce la interferencia de canal adyacente.

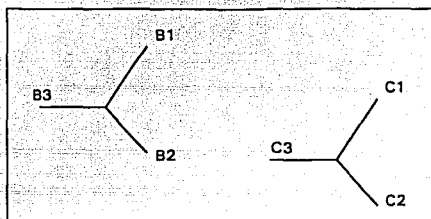


Fig. III.8.1.1 Asignación de frecuencias para evitar la interferencia de canal adyacente.

En la figura III.8.1.1, B1 es adyacente a C1 lo mismo sucede entre B2 y C2 y entre B3 y C3. Para este ejemplo, se debe evitar que al sector C de la radiobase 2 se le asigne la frecuencia C2.

En un buen plan de asignación de frecuencias se procura que las radiobases no utilicen más de un grupo de frecuencia y en el caso de que la demanda de servicio aumente, se puede aumentar el número de canales con las llamadas expansiones, que no son más que la asignación de más canales a un solo sector, para lo cual se puede requerir de dos grupos de frecuencias ver figura III.8.1.2.

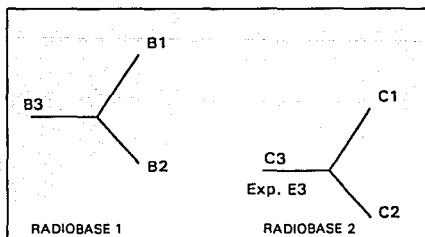


Figura III.8.1.2 Expansión de canales utilizando el grupo de frecuencias E3

Como se ve en el ejemplo, el sector C de la radiobase 2 tiene a los grupos, C3 y E3, con lo que la capacidad de ese sector crece. Sin embargo al utilizar dos grupos de frecuencias, se aumenta el riesgo de que el sector de otra radiobase con el mismo grupo de E3 (que para este caso es el de la expansión) apunte a C y se situe tan cerca que rebase la distancia de reuso mínima e incluso que ambas se vean "de frente", esto es sin una radiobase entre ellas, generándose así problemas de interferencia.

Para realizar las pruebas de interferencia primero se determina, por medio de equipos de medición, en que frecuencia se presentan problemas de cruce de llamadas (en la zona de interés) con lo cuál se obtiene su canal de control.

La forma como se realizan las pruebas de interferencia es muy simple. De una lista completa del sistema se encuentran los sectores que reusan la frecuencia que produce el problema.

Después se escoge un canal de voz del grupo en cuestión y se bloquean todos los canales que usen la misma frecuencia cuyos nombres se anotan, también se anotan datos relativos a la ubicación del sitio, el nivel de señal de una llamada al azar, la fecha y hora, quién es el sector que sirve a la zona etc.

A continuación se desbloquea el canal de la primera radiobase en la lista y se le ordena, desde el Conmutador Celular, que realice un barrido de todo el ancho de banda disponible. Al mismo tiempo en el sitio y con un aparato de medición ajustado a esa frecuencia, se van obteniendo lecturas del nivel de señal que se recibe en el lugar hasta que encuentre su punto máximo. Dicho valor se anota y se bloquea al canal.

Lo mismo se hace con el resto de los canales en la lista, entonces se comparan los niveles máximos de todos los sectores, con el del *servidor* y se observa que sectores rebasan la separación mínima de 18 dB con respecto al nivel de señal del servidor.

Una vez que se determina que célula origina el problema se toman medidas para reducir su cobertura; por ejemplo disminuyendo el valor de ERP o Potencia Efectiva Radiada en la transmisión, inclinando las antenas o disminuyendo su altura y si es posible reasignándole otra frecuencia.

III.8.2.- PRUEBAS DE COBERTURA.

Estas pruebas estan encaminadas a medir de una u otra forma el comportamiento de la Radiobase y en especifico el comportamiento de las células en cuanto a los beneficios y problemas que se presentan al instalar o anexas un nuevo sitio.

III.8.2.1. - MEDICION DE COBERTURA.

Despues de que entra a funcionar un sistema o un nuevo sitio es anexado se tiene que realizar la medición de la cobertura con alguno de los equipos de medición que se encuentran existentes en el mercado actualmente.

La medición de la cobertura estara dada alrededor de los (-86) dBm variando según el sistema y el país donde se encuentre, dado que en la práctica se requiere de un valor de señal que proporcione buena calidad de servicio en el interior de casas o edificios que es donde regularmente por el tipo de construcciones se presentan los problemas y no importando si la señal en el exterior tiene una mayor intensidad, por lo cual como respaldo comercial la cobertura se comercializa a este valor para no causar problemas de quejas con los usuarios.

La forma en la que es medido el borde de la cobertura de un sistema o de un solo sitio es realizado a través de coleccionar las mediciones de la intensidad de la señal con un equipo de pruebas instalado dentro de un vehículo utilizado para estos fines y realizando los recorridos (Drives Test) en la periferia del sistema o célula y en el interior de la misma hasta obtener las mediciones suficientes para determinar la cobertura deseada, plasmando estas marcas en mapas topográficos o de ciudades o con otros sistemas mas avanzados los cuales cuentan con equipo sofisticado de posicionamiento automático ademas de guardar los datos para su posterior analisis e impresión.

Las pruebas de cobertura son realizadas con diferentes equipos que se encuentran en el mercado dentro de los cuales encontramos el Equipo RSAT, RSAT Traveller y CELLU-MATE, los cuales son utilizados entre otras cosas para determinar la intensidad de señal en algun punto

III.8.2.2.- EQUIPO RSAT (Realtime System Analysis Tool).

El equipo RSAT es una herramienta de análisis del sistema en tiempo real, fabricado por la compañía LCC incorporated para sistemas de telefonía celular, una producción de equipo con las más sofisticadas herramientas disponibles en cualquier parte del mundo para coleccionar y evaluar datos del desarrollo de sistemas de telefonía celular, el cual se encuentra en las versiones estandar como se muestra en la figura III.8.2.1 y Traveller (compacto para viajes) como lo muestra la figura III.8.2.2 y .3 la cual da la posibilidad no solo de medir cobertura en un vehiculo sino de obtener mediciones en el interior de construcciones dado que es un equipo compacto que se puede utilizar con baterias.

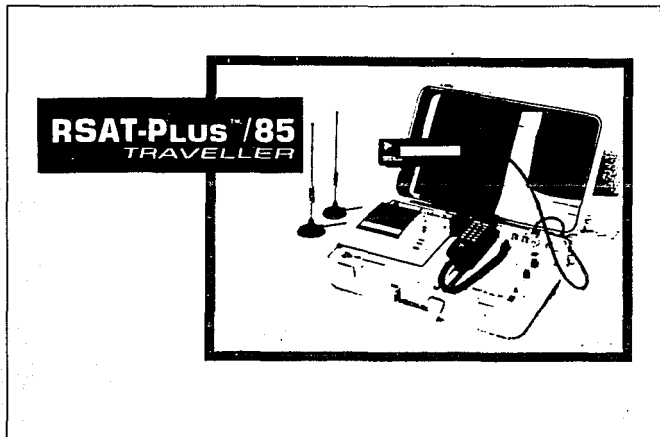


Figura III.8.2.2.- Equipo RSAT (Traveller)

Dentro de sus atributos el equipo cuenta con una pantalla de cristal líquido en la cual se observan Todas las lecturas requeridas, impresora para escribir las mismas y dentro de sus funciones se encuentran las siguientes:

- Medición de Handoff.
- Follow (Seguir el comportamiento de una llamada).
- Strongest A/B (Medición de la intensidad de señal de una o ambas bandas)
- Co-Chanel (Medición de interferencia co-canal)
- Call-best
- Adjacent C/I

III.8.2.3.- EQUIPO CELLUMATE (CM-1000).

El equipo (Cellular Measurement Analysis Test Equipment) Es un equipo de pruebas para análisis de mediciones celulares el cual fue diseñado para analizar el desarrollo de la cobertura de un sistema AMPS o compatible, dado que el constante crecimiento de los sistemas necesita diversificar la información en cuanto a lo requerido en el hardware y el software, el cual ha dado un sistema con un alto desarrollo y con una amplia variedad en funciones, en una unidad durable y en un paquete compacto. La colección de datos y el posprocesamiento de los mismos alojan marcas con mayor precisión gracias a los sistemas de navegación que maneja. Teniendo en estas nuevas características una continua información de la posición del usuario.

Dentro de los procesos de análisis el más comunmente usado es el modo de (Survey) inspección, en el cual el CM-1000 aloja el monitoreo de todos los 437 canales incluyendo la banda del espectro expandido y analiza el reuso de canales.

En el modo (Follow) colecta los datos de dos llamadas en proceso para medir fácilmente el lugar y el nivel en el que se desarrolla el handoff entre celulas, y diferentes tipos de análisis que pueden ser desarrollados posteriormente al drive test.

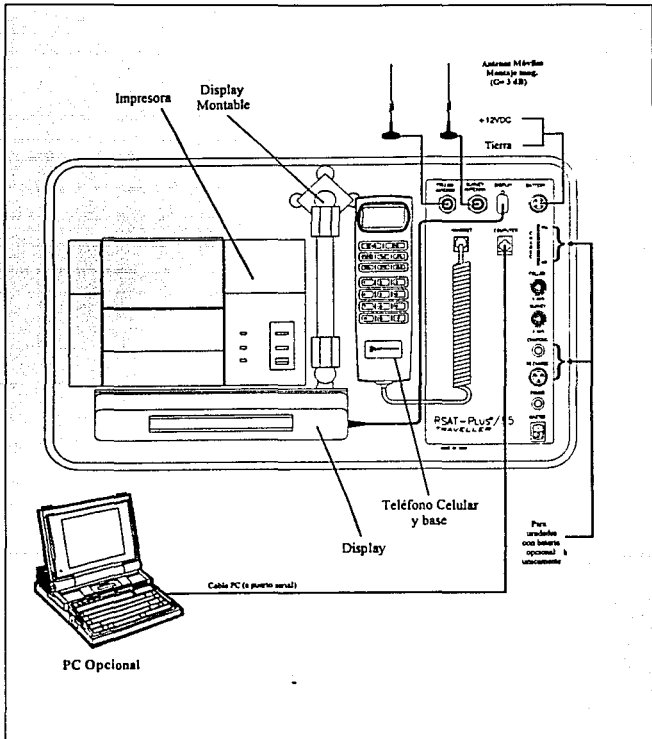


Figura III.8.2.3.- Diagrama de bloques del Equipo RSAT (Traveller)

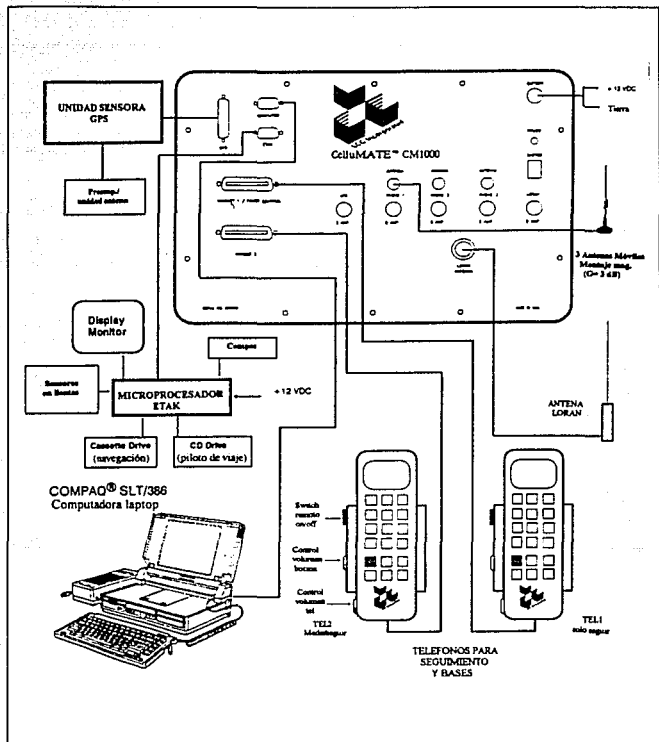


Figura III.8.2.4.- Diagrama de bloques del Equipo CelluMate CM-1000

El CM-1000 relaciona las mediciones realizadas con la posición de las mismas apoyado a través de alguno de los sistemas de posicionamiento que utiliza ETAK o GPS los cuales dan la posición de los puntos en donde se están realizando las mediciones en cuanto a las coordenadas de latitud y longitud específicas a cada medición contando con la capacidad de postprocesar esta información para imprimirla y analizarla detalladamente posteriormente.

Como lo muestra la figura III.8.2.4 la unidad básica es la encargada de controlar todos sus componentes, el equipo cuenta con tres teléfonos celulares para realizar las mediciones los cuales deben de ser del tipo full-duplex y compatibles con el sistema AMPS con las siguientes restricciones el teléfono 1 es usado estrictamente para el modo de Follow (Monitorear una llamada en proceso dentro del funcionamiento del sistema); El teléfono 2 puede servir tanto en modo Follow como en modo Survey (Inspeccionando la recepción del sistema) y el teléfono 3 opera estrictamente como modo Survey.

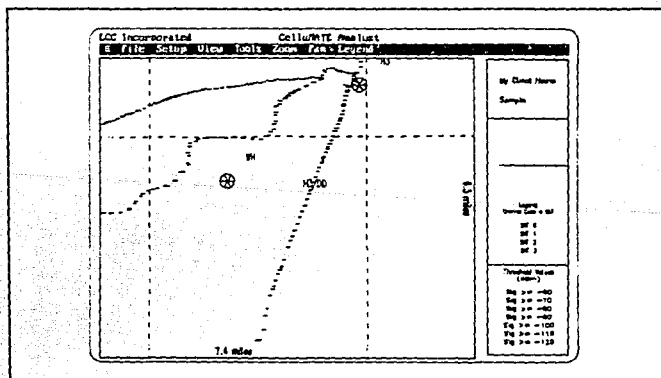


figura III.8.2.5.- Mapas de impresión procesados por el software del Equipo CM-1000

El postprocesamiento del equipo cuenta con un poderoso software con el cual se pueden recrear todos los eventos grabados y teniendo estos separar y plotear de tan variadas formas como lo dese el usuario.

III.8.2.4.- SISTEMAS DE NAVEGACION CON LOS QUE CUENTA EL EQUIPO.

Los sistemas de navegacion alojan la correlación de los datos con la posición geográfica de los mismos en el momento en que las mediciones son tomadas con lo cual se pueden calcular las características de propagación del sistema celular más específicamente bajo las condiciones de operación ideal los dispositivos de localización pueden proporcionar con exactitud extrema las coordenadas tanto de latitud como de longitud que son tomadas.

El analisis del procesamiento de los datos del software proporcionado como paquete del CM-1000 usa estas coordenadas para crear los mapas de impresión (plots) como se muestra en la figura III.8.2.5 de rutas actuales durante la colección de datos (survey). Estos mapas de impresión Plots muestran la localización donde la medición fué realizada y el nivel de intensidad de señal, ademas de proporcionar tambien la localización de los sitios celulares para una mejor referencia del usuario como se muestra en la figura III 8.2.6 y a diferentes colores para observar de mejor manera los diferentes valores de intensidad de señal. Por lo cual con todo lo anterior en un sitio se puede determinar la cobertura, interferencia y analisis de comparación de servicio entre las dos bandas existentes.

III.8.2.4.1.- ETAK (Navigator and Travepilot)

El ETAK es un sistema de navegacion que proporciona información de la posición, este sistema es una tapa o disco magnético instalado en la rueda del vehiculo, contando tambien con un microprocesador el cual da la medición diagonal contando con un disco compacto el cual contiene una base de datos de los mapas requeridos, lo cual se encuentra instalado

compactamente montado en el vehículo al realizar las pruebas de manejo. los sensores en las ruedas proporcionan a los datos la distancia de viaje y la brújula proporciona el manejo de la dirección electrónica usando a misma medición de referencia magnética de una brújula convencional.

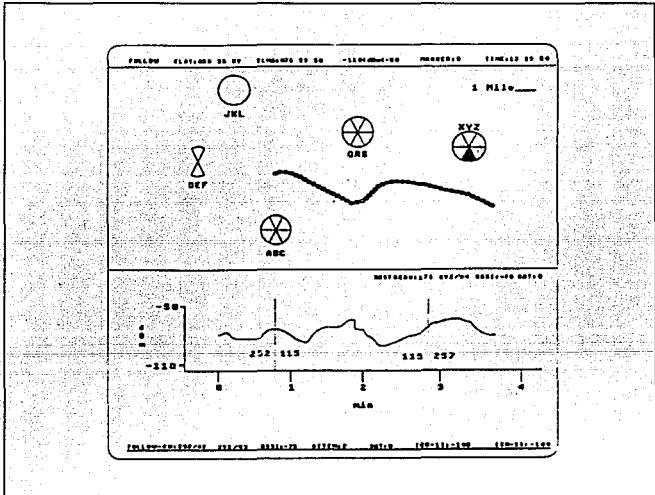


Figura III.8.2.6.- Recreación de los eventos realizados en en Drive Test visualizando los sitios celulares y de forma grafica.

III.8.2.4.2.- GPS (Global Positioning System)

El GPS opera básicamente sobre el principio de la llegada de diferencia de tiempos, este equipo utiliza una unidad sensora y un grupo de satélites en servicio para calcular la posición específica de las coordenadas del sistema a través de mediciones de distancia entre las unidades sensoras y cada satélite. Estas unidades en el GPS seleccionan y analizan las señales de radio de tres satélites disponibles en el momento (un cuarto satélite es solo requerido para cancelar algún error en la señal) la longitud del tiempo de una radio señal a cada unidad sensora del GPS de cada satélite determina la distancia entre los mismos y con lo cual es calculada la posición.

III.8.2.5.- HANDOFFS ENTRANTES Y SALIENTES.

Como se menciona en el capítulo uno el handoff es la petición para cambio de célula es decir dejar el área de servicio de una célula para entrar a otra por deterioro de la señal. por lo cual estos deben de estar controlados para que se desarrollen dentro de determinado punto o lo que es lo mismo dentro de una determinada área a una cierta distancia de la radiobase. Por lo cual el ajuste de estos parámetros es necesario dado que se presentan dos tipos para una misma célula, el primero llamado Handoff saliente el cual se presenta cuando un abonado se desplaza de el interior de una célula hacia el exterior de la misma para enlazar a otra, o lo que es lo mismo se aleja de la radiobase como se muestra en la figura III.8.2.7a.

El proceso de cambio de una célula a otra comienza cuando el abonado empieza a deteriorar su señal y entra al umbral en el cual se genera una petición de handoff pero no es realizado hasta que se obtiene una respuesta de alguna célula con un mejor nivel de señal a la existente o en el caso de encontrarse en una célula de la periferia del sistema hasta que el nivel sea demasiado bajo y no se pueda realizar el handoff sino corte de llamada.

Cuando se tiene un Handoff entrante de igual forma al anterior la célula receptora contestara a la solicitud de handoff siempre y cuando cuente con un mejor nivel de señal y no presente congestión para tomar la llamada como se muestra en la figura III.8.2.7b.

Como se puede observar en esta figura el punto para el handoff entrante y saliente para una célula no es el mismo sino que se presenta dentro de una determinada área donde se realiza el cambio de la señal de una célula a otra por lo cual es importante que estos puntos se mantengan dentro de un patrón establecido para dar la mejor calidad de servicio posible dado que en lugares de congestión extremo la cobertura de las células debe ser pequeña para dar el servicio necesario a la demanda existente controlando estos puntos correctamente.

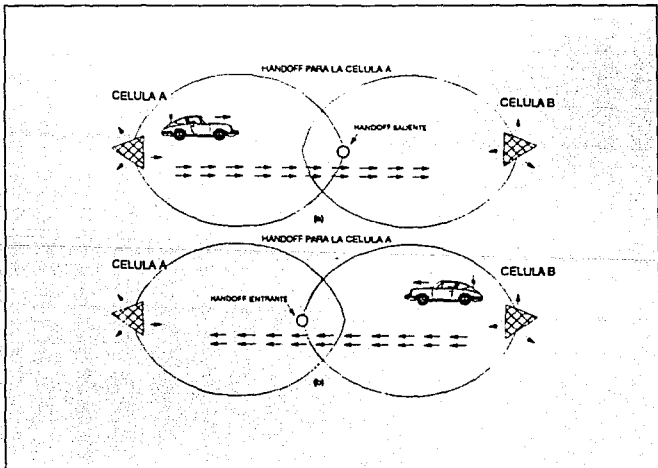


Figura III.8.2.7.- Realización de Handoffs entrantes y salientes.

III.8.2.6.- POTENCIA E INCLINACION DE ANTENAS.

la potencia de una célula se encuentra muy relacionada con la cobertura de la misma, dado que en lugares donde el sistema comienza las potencias en los radios regularmente debe ser la mayor posible para tener la mayor cobertura posible y en forma contraria en los sistemas altamente poblados de sitios celulares en donde las potencias son muy pequeñas para no tener problemas de interferencias de algún tipo.

En cuanto a la inclinación de las antenas también juega un papel importante en cuanto a la cobertura de la misma dado que en lugares densamente poblados de sitios celulares se requiere forzosamente el utilizar antenas sectoriales y con inclinaciones considerables para contar con una delimitación de la cobertura de determinado sector y no causar problemas de interferencia.

CONCLUSIONES

Debido al creciente desarrollo tecnológico en sistemas de comunicaciones, el hablar de ellos implica forzosamente el tratar el tema de la Telefonía Móvil Celular, ya que actualmente es uno de los de mayor auge y demanda en todo el mundo, debido a las ventajas de comunicación personal que facilita. Este trabajo trata de tocar la mayor parte de los puntos de ingeniería asociados con este, en lo referente a comunicaciones y temas afines, que son importantes para el diseño y estudio de la puesta en operación de un sistema de este tipo, lo cual implicó el coleccionar la mayor información posible para el buen desarrollo del mismo. Esta información es de lo más reciente que se pudo conseguir, debido al relativamente corto tiempo en que se tiene implementado este sistema.

Los temas tratados en este trabajo, fueron desarrollados de tal forma en que puedan ser entendibles por cualquier persona relacionada con la ingeniería en comunicaciones, ya que uno de los puntos principales de este, es el dar la idea del funcionamiento y diseño de un sistema de Telefonía Móvil Celular; con lo que se puede motivar a pensar en innovaciones o adecuaciones al mismo para mejoras en su funcionamiento o aplicación, lo que es una parte importante en el desarrollo de todo ingeniero.

Uno de los principales factores para el desarrollo de la telefonía celular, es el reuso de frecuencia que incrementa enormemente la capacidad del sistema. Esto podemos observarlo si comparamos los primeros sistemas móviles, que no consideraban el reuso de frecuencias, con los sistemas actuales donde el número de usuarios es mucho mayor.

Un punto importante es la necesidad del establecimiento de estándares en el diseño de nuevos sistemas así como la asignación de un mismo espacio de frecuencias para todos ellos alrededor del mundo a fin de lograr, por ejemplo, la interconexión de equipos celulares de diferentes compañías en diferentes países y el diseño de tecnologías paralelas (microcélulas,

repetidores celulares, etc.) que se desarrollan para satisfacer la creciente demanda de servicio que no se contempló en un principio, y que por tanto, no puede ser cubierta por los sistemas básicos.

Por tal motivo se puede considerar a la Telefonía Móvil como el punto de partida del desarrollo del sistema de Telefonía Móvil Celular, debido a la similitud en el funcionamiento básico entre ambos, ya que el segundo es un sistema más complicado y completo; de este punto de partida se desarrollarán un cierto número de sistemas de Telefonía Móvil Celular, variando unos de otros, más que nada en características técnicas.

El tipo de planeación, independientemente de la filosofía utilizada, tiende a incrementar la capacidad de tráfico, dado que se desea servir a un mayor número de abonados requiriendo de áreas cada vez más pequeñas con objeto de disminuir los problemas de congestión. Por tal motivo, es desarrollado un minucioso estudio y análisis para el diseño e implantación de los nuevos sitios celulares que comprenden al sistema, contando con el apoyo de herramientas y programas de computo desarrollados para este fin.

Finalmente, concluimos que el desarrollo de este trabajo cumple satisfactoriamente con los objetivos propuestos, dado que al desarrollar los temas marcados en el índice se obtiene un conocimiento, si no totalmente específico (dada la complejidad y diversidad de los temas involucrados en el ambiente celular cada uno de ellos podría ser un tema de estudio), si comprensible para el entendimiento de lo que es un sistema de telefonía celular y los fundamentos para su diseño e implementación.

GLOSARIO

Acoplador.- Dispositivo para conectar dos o más fuentes de RF a un cable o puerto.

Aislador.- Dispositivo de RF unidireccional.

AMPS.- Advanced Mobile Phone System o Sistema Avanzado de Telefonía Móvil.

Antena colineal.- Antena cuyos dipolos se colocan de manera vertical.

Antena omnidireccional.- Antena que radia energía por igual en todas direcciones (horizontalmente) alrededor de ella.

Antena sectorial.- Antena direccional que produce cobertura en uno o más sectores de la cobertura total de una radiobase.

Area Code.- Usualmente es un número de dos o tres dígitos que identifica el área de un teléfono fuera del área de servicio del abonado que realiza la llamada.

Area de cobertura.- Son los límites utilizables de una célula. Usualmente se limita hasta 39 dBuV/m para el sistema AMPS.

Cable coaxial.- Son un par de conductores que consisten de un conductor central rodeado por otro. Estos canales se utilizan debido a su inmunidad a la interferencia y las relativamente pocas pérdidas de potencia en altas frecuencias.

Canal.- Par de frecuencias usadas por el móvil (esto es, una frecuencia de transmisión y otra de recepción).

Cavidad.- Dispositivo resonante, a menudo en forma de tambor o cilindro, que actúa como filtro en los sistemas celulares.

Célula.- Son un grupo de canales que cubren la misma área. Una radiobase puede tener al utilizar antenas direccionales.

Cell site.- Localización de la célula.

Cobertura.- Área en la cual el servicio es de un nivel aceptable.

Combinador.- Dispositivo utilizado para combinar cuatro o cinco frecuencias de transmisión.

Conmutador.- En radio celular, la conexión con un interruptor, entre la red telefónica y la radiobase. También se le llama Mobile Exchange, MTSC, MTSO, MTX y de otras formas.

dB (decibel).- Unidad para expresar unidades relativas como potencia o voltaje.

dBd.- Ganancia relativa a una antena dipólo.

dBd.- Ganancia relativa a una antena omnidireccional hipotética.

Desviación.- La cantidad de cambio de frecuencia en un sistema modulado en FM (expresado en KHz o en Hz).

Difracción.- Propagación alrededor de un obstáculo

DTMF.- Dual Tone Multi Frequency. Es la señalización utilizada en los nuevos teléfonos de teclas. Las combinaciones de dos tonos representan varios números.

Erlang.- Es la unidad en que se representa el tráfico telefónico donde 1 erlang es un circuito ocupado por hora.

ERP.- Effective Radiated Power. Es la potencia, expresada en watts, radiada en la dirección de la máxima ganancia de la antena que se calcula al multiplicar la potencia en las terminales de la antena por dicha ganancia.

ESN.- Electronic Serial Number. Se encuentra contenido en el NAM (Number Assignment Module).

Estación Radiobase o Radiobase.- Es el sitio que contiene el equipo de radio celular. Este puede tener una o más células.

FCC.- Federal Communications Commission. Organización reguladora de comunicaciones en Estados Unidos.

Feeder.- Es un cable coaxial o guía de onda que conecta el transceptor a una antena. En el feeder se incluyen los jumpers.

Feedline.- Lo mismo que feeder.

FM.- Frequency Modulation. Es una técnica de modulación analógica muy común que se caracteriza por sus excelentes características de relación S/N. La frecuencia de la portadora varía en proporción a la amplitud de señal moduladora.

Frecuencia.- Es la razón de cambio en la cual los campos magnético y eléctrico de una onda de radio vibran una vez por segundo. La frecuencia se expresa usualmente en MHz.

FSK.- Frequency Shift Keying. Es el método de modulación que utiliza cambios de frecuencia (en pasos) para transmitir datos. Generalmente solo se emplean dos frecuencias.

Ganancia.- Es un factor, generalmente expresado en decibeles (dB), con el cual la señal recibida es amplificada o mejorada (en el caso de una antena).

Ganancia de antena.- La ganancia de una antena comparada con un dipolo o antena de un cuarto de longitud de onda.

GSM.- Groupe Speciale Mobile Sistema digital Pan-Europeo.

Handoff.- Es la habilidad de un móvil celular de moverse a través del área de cobertura pasando de célula a célula para mantener una buena calidad de señal. El handoff idealmente no lo percibe el usuario.

Hands free.- Es un sistema que permite la comunicación telefónica sin tomar el auricular, utilizando para ello una bocina y un micrófono adicionales.

Hexadecimal.- Es el sistema de numeración basado en 16 números.

IC.- Circuito Integrado.

Interferencia.- Recepción de señales no deseadas que se incorporan a la señal usada.

Isotrópico.- Que se propaga en todas direcciones con la misma magnitud; en antenas su patrón de radiación es de tipo circular (tanto horizontal como vertical) tomando como centro la antena.

Jumper.- Cable coaxial de mayor flexibilidad que permite el empale entre la guía de onda y la antena.

KHz.- Kiloherz. Mil ciclos por segundo; 1 000 KHz = 1 MHz.

Longitud de onda.- Distancia desde una cresta o un valle en una onda de radio al mismo punto en la siguiente oscilación. La longitud de onda en celular es de alrededor de 30 cm de largo.

Mantenimiento.- Cambio de unidad para volver a poner en operación un componente de la Radiobase (tranceiver, tarjetas, etc.).

Mástil.- Estructura simple para soportar una o varias antenas.

Memoria.- Circuitos integrados que guardan información.

Miliwatt.- Milésimo de un watt.

Modem.- Modulador/demodulador que convierte señales de binarias a analógicas y viceversa. Se usa para conectar dispositivos digitales como computadoras, a través de líneas telefónicas analógicas.

Modulación.- Método por el cual la señal transmitida es sobrepuesta en la portadora.

Multiacoplador.- Dispositivo sintonizado que acopla 2 ó más canales (usualmente 16 en celular) del cual sale un feeder o una antena.

Multipath.- Patrones de interferencia creados por la adición de señales de más de una trayectoria.

NAM.- Number Assignment Mobile. Es un PROM de 32 x 8 bits de longitud que contiene detalles del suscriptor, del sistema y de las opciones disponibles en el teléfono celular.

NTM.- Nordic Mobile Telephone.

Operador celular.- Propietario y/o operador de una red celular.

PCM.- Pulsed Code Modulation. Tipo de transmisión digital que emplea un cierto número de canales sobre la misma trama en diferentes timeslots o ranuras.

Plano de Tierra.- Es el área directamente abajo de una antena de un cuarto de longitud de onda u otra no balanceada. Este debe de tener una resistencia baja y al menos un radio de un cuarto de longitud de onda tomando como centro la antena.

PM.- Phase modulation. Forma de modulación analógica relacionada a la FM en la cual la fase de cada portadora varía con la amplitud de la señal modulada.

Portátil.- Teléfono celular de mano.

PSTN.- Public Switching Terminal Network. Red de telefonía convencional.

Refracción.- Propagación diferente a la que va en línea recta y que ocurre cuando esta es desviada por algún material (por ejemplo aire o agua). La refracción ocurre cuando existe un cambio en la densidad del medio.

Relación Señal a Ruido.- S/N. Es la relación de potencias entre la fuente de señal recibida y la fuente de ruido.

Repetidor celular.- Es el dispositivo que los canales de la estación base. Es en esencia, un amplificador lineal.

RF.- Radio Frecuencia. Varía desde 10 KHz hasta 300 MHz.

Roaming.- Usar un teléfono celular en otro sistema distinto al que se encuentra suscrito.

SINAD.- Similar a señal a ruido, pero en la que se suman los productos de la distorsión (Signal to Noise and Distortion) a la potencia del ruido.

TACS.- Total Access Cellular System.

TDMA.- Time Division Multiple Access. Sistema digital (por lo general de radio) que permite a un número de usuarios utilizar el mismo sistema siendo asignado de manera dinámica a un timeslot en particular. A menudo se usa para describir el sistema de radio telefonía rural que utiliza dicho sistema.

Tiempo de aire.- Es el tiempo total que se ocupa un canal, incluyendo el tiempo de la llamada, el tiempo antes de que conteste y el tiempo antes del corte de la llamada.

Torre.- Estructura autoportada empleada para sostener las antenas.

Tráfico.- Llamadas en progreso.

Transportable.- Teléfono celular completo, con un estuche para las baterías que permite la operación portátil; tiene la apariencia de un maletín. Por lo general es mucho más grande y tiene una potencia de salida mayor que la usada en un teléfono portátil.

Transreceptor.- Transmisor y receptor en una sola unidad como el usado en un teléfono móvil.

Traslación de frecuencia.- Es el proceso de convertir una señal en otra de una frecuencia diferente. Se usa a menudo en los repetidores.

UHF.- Ultra High Frequency. Banda de radio frecuencia que va de 300 a 300 MHz.

Wireline.- Se refiere a la compañía celular que también provee los servicios de telefonía pública o convencional.

BIBLIOGRAFIA

Mobile Cellular Telecommunications Systems.

William C. Y. Lee.

McGraw - Hill, 1989

Cellular Radio Handbook.

Neil J. Boucher.

Quantum Publishing, 1990

Proyecto Celular México.

Radio Telephone System Group.

Motorola, 1989

CMS 8800 Celular Mobile Telephone System.

Department (Radio Systems)

Ericsson, 1987

Cell Plannig.

Department (Radio Systems)

Ericsson, 1989

Sistemas de Comunicación Móvil.

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N.

Alfaomega, 1992

Ingeniería de Distemas de Comunicaciones.

Roger L. Freeman.

Limusa, 1989

Redes de Comunicaciones.

Huidobro José Manuel.

Paraninfo, 1992

Antennas (Segunda Edición).

John D. Kraus.

McGraw - Hill, 1988

Estudio de Mercado (Pachuca y Tulancingo).

Depto. Mercadotecnia.

Telcel, 1992.

Sistemas de Comunicación.

Carlson A. Bruce

McGraw - Hill, 1980

Transmisión de Información, Modulación y Ruido.

Misha L. Schwartz.

McGraw - Hill, 1985.