

143 209

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



PLANEACION Y DISEÑO DE SISTEMAS TELEFONICOS CELULARES VIA-SATELITE CON APLICACION AL AMBITO RURAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

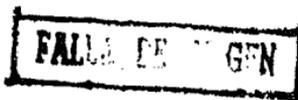
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

ALGER ESPINOSA ARELLANO

MEXICO, D. F.

1990





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.

I N D I C E

Página

INTRODUCCION

CAPITULO I. - LAS COMUNICACIONES RURALES EN MEXICO

I.1) Evolución de la Telefonía Rural	1
I.2) Situación actual y perspectivas	7
I.3) Medios alternativos de comunicación	10

CAPITULO II. - SISTEMAS TELEFONICOS CELULARES

II.1) Concepto de Telefonía Celular	13
II.2) Potencialidad del Sistema Celular	19
II.3) Características de operación	23
II.4) Arquitectura del Sistema	26
II.5) Situación actual del desarrollo de la tecnología celular en el mundo	31
II.6) Tendencias de la tecnología celular	48

CAPITULO III. - ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR

III.1) Geografía, medio ambiente y demanda	53
III.2) Técnicas de modulación	57
III.3) Técnicas de diversidad	65
III.4) Ruido	67
III.5) Interferencia entre canales	70

	Página
III.6) Crecimiento	74
III.7) Antenas	81
III.8) Enlace Satelital	83
III.9) Equipo	84

CAPITULO IV. - DISEÑO DE REDES CELULARES

IV.1) Definición de Arquitectura	86
IV.2) Enlace Celular	89
IV.2.1) Asignación de Banda de Frecuencias	89
IV.2.2) Tamaño de la Célula	90
IV.2.3) Distribución de canales	92
IV.2.4) Cálculo de enlace	96
IV.3) Enlace al Satélite	107
IV.3.1) Cálculo del enlace	107
IV.3.2) Asignación de Frecuencias	114
IV.4) Facilidades de comunicación adicionales	128
IV.5) Infraestructura	129

CAPITULO V. - PLANEACION DE REDES CELULARES

V.1) Conceptos de planeación, sistema e importancia de la información	130
V.2) Metodología de planeación	138
V.2.1) Planteamiento de la situación-problema	139
V.2.2) Solución a la situación-problema	144
V.2.3) Control	148

CAPITULO VI. - CONCLUSIONES

VI.1) Sobre el concepto celular en el ámbito rural	150
VI.2) Sobre el Diseño de Sistemas Celulares	153
VI.3) Sobre la Planeación de Sistemas Celulares	155

B I B L I O G R A F I A

A N E X O

I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo pretende, tomando en cuenta la tendencia que actualmente se está dando en los países desarrollados referente a la expansión del mercado de comunicaciones móviles hacia el ámbito rural, apoyar y sugerir la utilización de la tecnología celular en radiotelefonía como una opción a considerar seriamente a fin de satisfacer la demanda de comunicaciones rurales.

Aunado a lo anterior, se propone la utilización de las comunicaciones via-satélite a fin de aprovechar la cobertura amplia que ofrece este recurso y obtener de esta manera facilidades de comunicación de larga distancia.

A través de los tres primeros capítulos del presente trabajo, el lector conocerá someramente el estado actual de las comunicaciones rurales en nuestro país, comprenderá el concepto celular en radiotelefonía y profundizará en el conocimiento de importantes cualidades técnicas de esta tecnología.

Los dos siguientes capítulos revisten particular importancia ya que en ellos se pretende, por un lado, trasladar los conceptos de diseño de redes celulares desde una concepción enfocada al Área de las comunicaciones móviles urbanas hacia consideraciones referentes al ámbito rural; y por otro lado, proponer una metodología de planeación desde un punto de vista más amplio que el puramente técnico.

Finalmente, el sexto y último capítulo presenta interesantes conclusiones sobre el trabajo realizado enfatizando en las cualidades que ofrece el concepto celular en el campo de las comunicaciones rurales y haciendo referencia particularmente a aspectos de diseño y planeación de este tipo de sistemas.

CAPITULO I

LAS COMUNICACIONES RURALES EN MEXICO

En este capítulo se presenta el desarrollo que ha tenido la telefonía rural en nuestro país en comparación al propio desarrollo de la población rural y al relativo a otros importantes medios de comunicación. Se hace énfasis en el rezago existente en cuanto a la satisfacción de la demanda y en cuanto a la ventaja competitiva de la radiotelefonía sobre otras tecnologías y servicios de comunicación.

1.1) EVOLUCION DE LA TELEFONIA RURAL

Como consecuencia del desarrollo económico del país, la población rural ha visto decrecer, de manera significativa, su peso específico en relación al total de la población nacional. Después de representar el 67% en 1940, pasó a ser el 33% en 1980.

<1>

Sin embargo, en términos absolutos la población rural ha crecido de 13'361.000 habitantes a 22'547.000 habitantes en el mismo período, lo que representa un incremento de casi 69% que demanda todo tipo de servicios (Figura 1.1).

TENDENCIA DE LA POBLACION RURAL

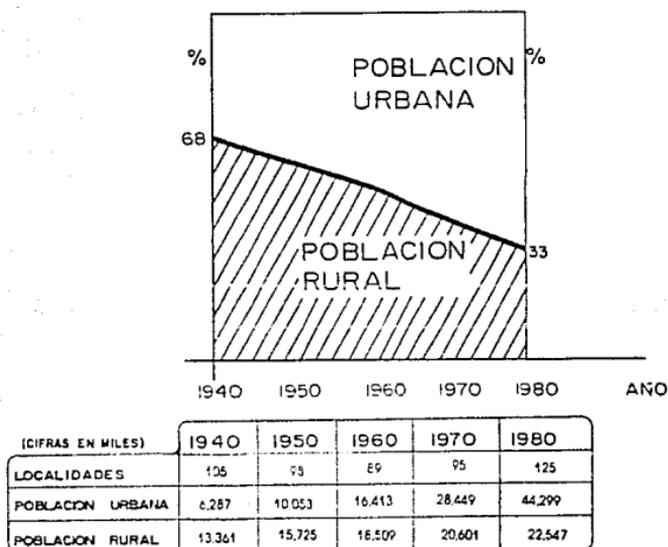
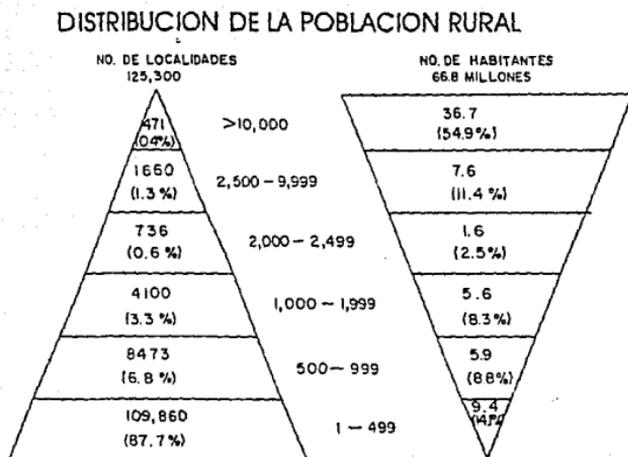


Figura 1.1

Se consideran como localidades rurales a aquellos asentamientos comprendidos entre 1 y 10,000 habitantes. La distribución de la mencionada población rural da clara idea del nivel de concentración al que se ha llegado, lo cual origina problemáticas más severas en cuanto a la integración de dicha población a la vida nacional (Figura 1.2).



FUENTE: I CENSO DE POBLACION Y VIVIENDA, 1980.

Figura 1.2

En México, el servicio telefónico en el medio rural ha sido atendido tradicionalmente por TELMEX, sus filiales y la SCT, encargándose ésta última exclusivamente del servicio de larga distancia a través de líneas físicas o sistemas de radio de

acceso múltiple (PAM). A últimas fechas, se ha concesionado el servicio a empresas particulares que están utilizando tecnología celular en zonas rentables.

Las poblaciones rurales con servicio telefónico a cargo de TELMEX, se han incrementado a un ritmo promedio de 275 localidades por año, durante el periodo 1975-1980; y de 208 localidades anuales de 1980 a 1986, aún cuando se había establecido el compromiso de mantener una tasa anual de 300 (Figura 1.3).



Figura 1.3

Tradicionalmente, la evolución del servicio telefónico en una localidad rural ha sido el siguiente: <2>

- 1) El primer servicio que se ofrece a una población es el de Larga Distancia, generalmente a través de un sólo circuito enlazando el teléfono del agente con las posiciones de otra población cercana.

- 2) Posteriormente, se substituye la operación manual de este servicio conectando el circuito único a una central automática.
- 3) Cuando la demanda del servicio telefónico se incrementa, se justifica la instalación de un conmutador manual, dando inicio al servicio local.
- 4) Un paso intermedio en la evolución depende del incremento del tráfico y del aumento de usuarios domiciliarios, y consiste en instalar un segundo conmutador manual y ampliar el número de circuitos de enlace con la red nacional.
- 5) Por último, cuando las solicitudes para servicio domiciliario de la localidad se incrementan, se considera la automatización total del servicio telefónico, para lo cual se pueden integrar los usuarios de la población a la central automática más cercana o dotar a dicha población de su propia central.

Los pasos anteriores no son obligatorios de manera que el procedimiento puede verse modificado dependiendo del ritmo de la demanda. De hecho, a partir de 1954, todos los servicios nuevos que se integran a la planta gozan del servicio de larga distancia automática <3>. En cuanto al último paso mencionado, la evolución que se ha dado en la automatización de poblaciones rurales con servicio telefónico manifiesta un ritmo de crecimiento promedio de aproximadamente 25 automatizaciones por año (Figura 1.4).



TECNICAS UTILIZADAS: <4>

Las técnicas utilizadas son tres, y su aplicación única o combinada depende de las características propias de la región a considerar y del número de comunidades a beneficiar:

TELEFONIA ALAMBRICA:

Esta tecnología permite la conducción, a través de un circuito físico de cable, de frecuencias de voz y de frecuencias portadoras, donde las primeras son usadas para comunicar una localidad por circuito, mientras que las corrientes portadoras se aplican para comunicar hasta 8 localidades por circuito.

La comunicación por telefonía alámbrica tiene sustentada su importancia en la buena aplicación y en su buen mantenimiento que dependen de buenos análisis técnico-económicos y de personal capacitado.

RADIOTELEFONIA:

La aplicación de esta tecnología consiste en el establecimiento de sistemas de radio multiacceso en los que un número determinado de suscriptores dispersos en una área específica, hacen uso común de un número bastante menor de canales full-duplex de radiofrecuencia mediante los cuales se enlazan con la central telefónica automática.

Dichos sistemas operan en las bandas de VHF y UHF, y están constituidos por estaciones terminales, estaciones radio-base y tantas estaciones suscriptoras como poblaciones se considere servir. Desde luego, es posible la comunicación entre abonados rural y urbano y entre abonados rurales.

TELEFONIA ESPACIAL:

Con la puesta en marcha del Sistema Morelos de Satélites, el número de canales de voz se incrementó notablemente; sin embargo, se estima que este sistema se utilizará prioritariamente para otros servicios diferentes al telefónico, liberando la red de microondas para uso de la telefonía. <5>

A pesar de lo anterior, se ha mencionado el uso del satélite para la telefonía rural. A tal efecto se estableció un Plan Piloto de Estaciones Terrenas para telefonía rural que considera 10 estaciones terrenas urbanas y 18 rurales; la red trabaja actualmente con canales preasignados, aunque la filosofía original de operación es de acceso por demanda.

1.2) SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS

A partir de 1960 y hasta la fecha, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha realizado 555 programas u obras con un total de 3,212 localidades beneficiadas (Tabla 1.1). Por parte de Teléfonos de México, la cifra de poblaciones con servicio telefónico llega a 5,686.

SELECCION DE TELEFONIA REALIZADA
ESTADISTICA DE TELEFONIA REAL 1960-1987 *

ENTIDAD PERSPECTIVA	NUMERO DE OBRAS POR TECNOLOGIA UTILIZADA				CUANTIFICACION DE BENEFICIARIOS	
	TA	RC	RT	TOT	LOCALID.	EFECTOS
ASTASCALIENTES	24	1	-	25	53	53,705
BAJA CALIFORNIA INT.	-	3	-	3	23	23,400
BAJA CALIFORNIA SUR	1	1	1	3	156	63,575
CAMPECHE	1	1	-	2	9	64,009
COAHUILA	-	1	-	1	13	-
COLIMA	1	-	-	1	1	-
CHIAPAS	3	4	-	7	52	152,443
CHIHUAHUA	27	1	-	28	297	122,583
CHUPARRUA	12	4	-	16	75	48,245
GUANAJUATO	5	1	-	6	11	77,267
GUERRERO	24	-	1	25	254	218,647
HIDALGO	28	-	-	28	61	52,528
JALISCO	12	5	2	19	124	135,126
MEXICO	43	1	1	45	122	271,293
MICHOACAN	14	3	2	19	157	321,812
MORILEOS	24	-	1	25	64	88,073
NAYARIT	16	3	1	20	133	72,775
NEUVO LEON	7	2	-	9	38	115,324
OAXACA	62	3	1	66	192	341,814
PUEBLA	26	-	2	28	95	160,542
QUERETARO	4	-	-	4	14	16,817
SAN LUIS POTOSI	14	2	-	16	52	168,688
SINALOA	3	-	1	4	143	106,714
SONORA	1	-	1	2	40	35,789
TABASCO	18	1	2	21	141	102,760
TAMAULIPAS	13	1	1	15	31	313,706
TERRUCULA	18	-	1	19	110	146,371
VERACRUZ	47	1	3	51	281	1,371,655
YUCATAN	20	-	-	20	27	64,266
ZACATECAS	25	3	-	28	65	202,475
TOTALES	493	41	21	555	3,212	4,582,163

TA = TELEFONIA ALAMERICA
RC = RADIOCOMUNICACION
RT = RADIOTELEFONIA
* OCTUBRE 1987

Tabla 1.1

En el rango de 500 a 10.000 habitantes, el estado actual del servicio telefónico presenta el siguiente panorama (Tabla 1.2).

Casi la totalidad de las poblaciones con más de 2.500 habitantes cuentan ya con servicio telefónico; la política actual ha determinado como candidatos a dicho servicio a aquellas poblaciones que cumplan con las siguientes características:

- * Tener entre 500 y 2.500 habitantes.
- * Contar con suministro regular de energía eléctrica.
- * Contar con camino transitable durante todo el año.

De estas poblaciones existen actualmente en el país 13.309, con un total aproximado de 13.1 millones de habitantes.

LOCALIDADES CON SERVICIO TELEFONICO

RANGO DE HABITANTES	TOTAL DE LOCALIDADES	LOCALIDADES				
		C/SERVICIO	%	S/SERVICIO	%	
500-9,999	14,969	TELMEX	3866			
		SCT	2580			
		TELNOR	16			
		TELNAL	34			
TOTAL	14,969	6,496	43.4	8473	56.6	

Tabla 1.2

En cuanto a las perspectivas en el desarrollo del sistema telefónico en zonas rurales, se manejan tres tipos de proyectos:

- * Automatizaciones
- * Proyectos A.S.A. (introducción de servicios LADA)
- * Servicios Nuevos

En cuanto a este último rubro, cabe mencionar la existencia de un proyecto financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo para la ejecución de un programa de telefonía rural a ser realizado por TELMEX y consistente en el establecimiento de un sistema de 58 células definidas cada una por una central de radio de multiacceso con la infraestructura necesaria para lograr el control y la interconexión de las agencias rurales con la red pública. Con este proyecto se pretende la instalación del servicio telefónico en aproximadamente 1,200 localidades rurales.

Además, existe un proyecto preliminar para la instalación de células adicionales que permitan un mejor aprovechamiento de la tecnología, de la infraestructura existente y de los recursos disponibles. Dicho proyecto propone la instalación de un total de 119 células a fin de dar cobertura nacional; esto requiere asignar en algunos casos equipos RAM de mayor capacidad y alcance, y probablemente tecnología digital.

I.3) MEDIOS ALTERNATIVOS DE COMUNICACION <6>

Aún cuando el servicio telefónico en el ámbito rural presenta una cobertura muy reducida, los otros servicios de comunicación no están en mucho mejor situación, a pesar de que su desarrollo se inició con bastante anterioridad.

TELEGRAFOS Y CORREOS:

Es el telégrafo el pionero de los servicios de comunicación en México; sin embargo, su penetración en el medio rural ha sido muy reducida, estimándose que sólo del orden del 2 % de las localidades rurales disponen de este servicio.

A pesar de lo anterior, el servicio telegráfico es el más cercano al telefónico desde el punto de vista de rapidez de comunicación y, aunque está siendo desplazado por este último en todo el mundo como consecuencia del desarrollo, ha logrado sostener su demanda debido a su gran utilidad económica, sobre todo en el medio rural.

Por otro lado, no obstante ser el correo el medio de comunicación con mayor penetración en el país, se estima que este servicio sólo cubre el orden del 10 % de las localidades rurales. Su efectividad y existencia dependen fundamentalmente de la infraestructura carretera y ferroviaria del país.

CARRETERAS, FERROCARRILES Y AUTOPISTAS:

El sistema carretero nacional tiene una estructura muy centralizada y convergente en la Ciudad de México. En general, los principales centros urbanos están comunicados entre sí, pero gran parte de las áreas rurales están incomunicadas o disponen de caminos no transitables todo el año.

La dificultad del transporte físico en el medio rural hace que la telefonía sea un medio de comunicación importante al sustituir, cuando esto sea posible, al transporte físico de las personas, con el consecuente ahorro de tiempo y costo de la comunicación.

Por otra parte, el ferrocarril es un medio de transporte masivo y ha tendido a comunicar a los grandes centros urbanos; y aunque éste ha representado un importante medio de comunicación a ciertos poblados que se encuentran en su camino, no puede ser considerado como alternativa para satisfacer a gran escala la demanda de comunicaciones rurales debido básicamente a las altas inversiones requeridas.

El sistema de aeropistas ha permitido comunicar exitosamente a las localidades rurales ubicadas en zonas montañosas; sin embargo, la radiotelefonía representa una opción más atractiva por su menor requerimiento de inversión.

Finalmente y en conclusión, la telefonía rural puede considerarse como un medio alternativo importante al transporte ferroviario y aéreo para ciertos objetivos de comunicación dado su menor costo de instalación y mayor facilidad de expansión en el territorio nacional.

CAPITULO II

SISTEMAS TELEFONICOS CELULARES

En este capítulo se explica a fondo el concepto celular incluyendo cuestiones como características de operación, arquitectura de redes celulares y potencialidad de la tecnología celular contra otras tecnologías y servicios de radiocomunicación. Además se presenta brevemente el desarrollo actual de la tecnología celular en el mundo así como sus tendencias futuras.

II.1) CONCEPTO DE TELEFONIA CELULAR

CONCEPTO

El desarrollo de sistemas telefónicos celulares respondió a la problemática de saturación de espectro asignado que se presenta frecuentemente en los sistemas radiotelefónicos convencionales. Por consiguiente, el concepto celular en telefonía se orientó en una primera instancia, al área de las comunicaciones móviles. Sin embargo, las cualidades que presenta el concepto celular, sobre todo en lo referente a capacidad en el número de abonados, han permitido ampliar sus aplicaciones a otras áreas, como la de las comunicaciones rurales, la cual se caracteriza primordialmente por cubrir grandes extensiones de terreno con bajas densidades de población.

Un sistema celular divide grandes áreas de servicio en células poligonales de tamaño variable; cada una de las cuales opera en forma semejante a la del sistema de radioteléfono convencional. La forma de la célula depende del área a cubrir por el sistema, siendo el exágono el que proporciona el menor número de células para dicha área de cobertura.<1>

La estructura de un sistema celular puede presentarse bajo dos modalidades: el sistema cableado y el no-cableado (wireline & non-wireline systems). Para ambos casos la configuración básica del sistema es muy similar, con la excepción de que los sistemas no-cableados pueden no estar necesariamente conectados a algún sistema telefónico convencional. Lo anterior significa que ambos sistemas emplean conceptos celulares similares y están

alimentados por los mismos tipos de unidades móviles, pero permitiéndose en los sistemas no-cableados la implementación de una "distribución de cobertura amplia" a través de fibra óptica, microonda; o incluso, mediante el uso de satélite en aquellas zonas rurales donde no exista infraestructura convencional.

Un sistema telefónico celular cableado estaría representado por la figura 2.1, en la cual podemos observar la división de la región en células, cada una de las cuales posee una base celular (BC). Dichas BC's están conectadas via cable tanto a las aldedañas como a una Oficina de Conmutación para Telecomunicaciones Móviles (OCTM). Cada célula recibe y transmite mensajes de y hacia unidades móviles y direcciona llamadas hacia otras células, otros canales o hacia la OCTM, la cual transferirá, en su oportunidad, dicha información al sistema telefónico convencional.<2>

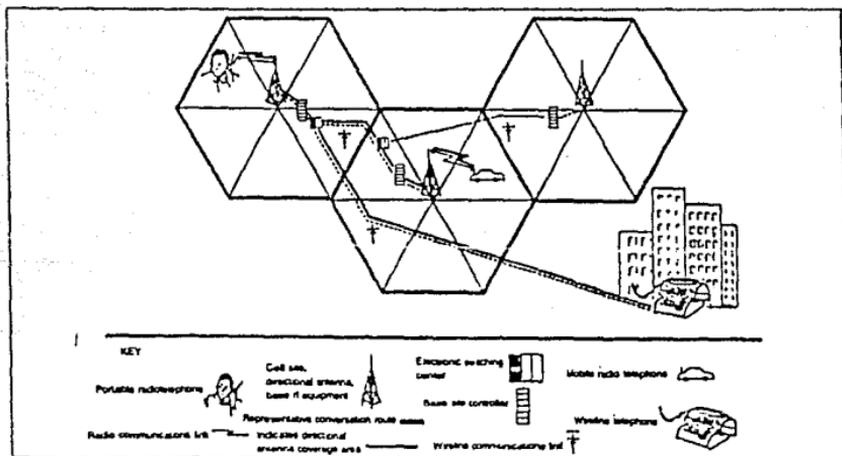


Figura 2.1

Un diagrama muy parecido se aplicaría al sistema celular no-cableado, a excepción de la imposibilidad de conexión directa y centralizada a un sistema telefónico convencional. Por otra parte, mediante una conexión vía microonda o vía satélite, se podría cubrir fácilmente la función de la OCTM; sin embargo, una oficina conmutadora tendría que realizar cambios de frecuencia de entrada y salida y labores de gestión del sistema, como por ejemplo la cobranza.

Dado que las bases celulares representan un alto porcentaje del costo del sistema, un objetivo primordial del mismo es determinar el menor número de bases posible, con la mínima interferencia entre canales y que cubra adecuadamente el área asignada.

Este tipo de sistemas, apoyados por la técnica del reuso de frecuencias en 2 ó más células lo suficientemente alejadas unas de otras como para evitar problemas de interferencia, soporta arriba de 10.000 usuarios por célula con un alto grado de eficiencia. En el caso de que la demanda se incrementara, el número de canales asignados a una célula podría resultar insuficiente; si éste es el caso, la extensión y el tamaño de las células puede manipularse para incrementar el número de usuarios en una determinada área, sin que se incremente el número de canales disponibles. Esto se logra con la subdivisión de la célula conectada en otras más pequeñas, cada una de ellas con su propia estación base, y redistribuyéndose el número de canales disponibles en la nueva configuración.

Dentro de un sistema en funcionamiento, una unidad móvil cualquiera se encontrará constantemente sondeando los canales disponibles, sintonizándose siempre en el más fuerte a fin de responder al flujo de información cuando el sistema de señalización lo alerte. El móvil permanece en este canal hasta que la fuerza de la señal disminuye, momento en el cual cambia a otro canal, recogiendo las transmisiones que también han sido transferidas ahí; esto ocurre generalmente cuando el móvil ha rebasado el límite de una célula para ingresar en otra. Dicha transferencia de canales es conocida como "hand-off" y está diseñada específicamente para mantener máxima comunicación en todo tiempo dentro del sistema. Sorprendentemente, la transferencia es completamente invisible al usuario dado que se utilizan microprocesadores para manejar la conmutación.

BASE CELULAR (BC) <3>

Como se mencionó anteriormente, cada célula consta de una Base Celular que sirve de central de enlace para los abonados de la célula y direcciona sus llamadas, tanto dentro, como fuera de la misma. Cada célula tiene asignado un grupo de canales de comunicación, el cual maneja frecuencias diferentes a las de los grupos de las células contiguas.

Para sistemas cableados, la base celular se ocupa exclusivamente del enlace de microondas, ya que el direccionamiento de la llamada hacia la OCTM se realiza a través de cable; por otro lado, en el caso de sistemas vía-satélite, la

base celular debe ocuparse además, del enlace al mismo y, dado el caso, debe contemplar la realización de funciones "inteligentes" de direccionamiento de llamadas, así como funciones administrativas del sistema. Todo esto se debe a la ausencia de una OCTM que centralice dichas funciones.

OFICINA DE CONMUTACION PARA TELECOMUNICACIONES MOVILES OCTM <4>

La OCTM es el elemento coordinador central en un sistema celular típico. Cuando se establecen las comunicaciones, tanto terrestres como móviles, la OCTM las administra abarcando una gran área que involucra al sistema completo.

La OCTM procesa, bajo control programado, todas las llamadas móviles y tiene entre sus funciones las siguientes:

- * Computa tiempo e información de cobranza.
- * Ejecuta los servicios telefónicos a clientes móviles.
- * Controla "hand-offs".
- * Suministra la conexión con la red telefónica conmutada.

UNIDAD DE ABONADO (UA) <5>

Las funciones correspondientes a la Unidad de Abonado dependen de si ésta es fija o móvil; sin embargo, en ambos casos se contempla un constante monitoreo de los canales disponibles o asignados, así como funciones de señalización que establecen las condiciones de operación entre Unidad de Abonado y Base Celular.

En el caso de unidades móviles, la señalización es más sofisticada ya que debe considerarse la posible migración de una célula a otra durante una conversación, por lo que se tendría que conmutar la comunicación a otro canal en forma transparente y automática.

Este tipo de funciones contemplan un esquema digital de comunicaciones que debe manejar una completa protección contra errores.

II.2) POTENCIALIDAD DEL SISTEMA CELULAR

Es necesario describir las diferentes tecnologías y servicios presentes en el mercado, de manera que se tenga un marco de referencia que nos permita establecer la potencialidad del sistema celular.

TECNOLOGIA Y SERVICIOS

Actualmente existen cuatro sistemas básicos:

- * Sistema de Llamada Unidireccional (one-way paging);
- * Sistema Convencional;
- * Sistema Troncal (trunked);
- * Sistema Celular.

Además, se ofrecen tres servicios de comunicaciones distintos:

- * Llamada de localización (paging);
- * Despacho (dispatch);
- * Servicio telefónico móvil.

El Sistema de Llamada Unidireccional emplea una estación base central, la cual transmite una señal codificada a una unidad móvil en particular. El caso más conocido es el del "beeper", que alerta al usuario para que establezca contacto con la estación base a fin de recibir el mensaje. La característica principal consiste en que el usuario no puede responder vía la unidad móvil. Las breves transmisiones unidireccionales permiten gran portabilidad, relativo bajo costo y gran eficiencia en el manejo del espectro de frecuencias.

El Sistema Convencional emplea la radiodifusión (broadcasting); la estación base y las unidades móviles comúnmente operan con las mismas frecuencias. Lo simplificado de la tecnología permite únicamente una trayectoria de voz; esto es que las partes comunicantes se turnarán, haciendo imposible la comunicación bidireccional simultánea. El empleo de radiodifusión presenta las desventajas de reducir la privacidad, la eficiencia del espectro y el número de usuarios que puede ser atendido. El alcance está limitado por la potencia y sensibilidad de las unidades móviles. Por otro lado, la radiodifusión facilita la velocidad de llamadas contactando todas las unidades simultáneamente.

El Sistema por Troncales utiliza, al igual que el sistema convencional, la radiodifusión; pero tiene acceso a muchos canales bajo el control de una computadora. Los usuarios hacen petición de transmisión y la computadora le asignará el primer canal libre que esté disponible, con lo cual se logra aumentar tanto la privacidad como la eficiencia en la utilización del espectro.

El servicio de llamada de localización se emplea en sistemas unidireccionales y proporciona información al usuario, sobre la base de mensajes extremadamente simples.

El servicio de Despacho involucra breves comunicaciones bidireccionales, no necesariamente simultáneas. El caso típico es el del monitoreo de vehículos como los taxis.

El servicio telefónico móvil se caracteriza por la posible interconexión con el sistema terrestre y por la capacidad de llamar o ser llamado por cualquier otro teléfono, ya sea fijo o móvil; por otro lado, el teléfono móvil puede ser empleado en funciones de despacho. La interconexión con la red telefónica conmutada proporciona un alcance más amplio.

POTENCIALIDAD

Ubicando la participación del sistema celular de acuerdo con los servicios que es capaz de brindar, se tiene que, de los tres servicios de comunicación móvil, es el teléfono móvil, y especialmente el teléfono portátil, el que ofrece mayor potencial al sistema celular. De hecho, se ha llegado a la casi generalizada opinión de que este sistema representa la alternativa más viable para resolver los problemas de congestión de espectro.

Ultimamente ha aparecido en el mercado lo que se ha dado en llamar Servicios Telefónicos Móviles Mejorados (IMTS, por sus siglas en inglés)<6>, los cuales emplean tecnología troncal; sin embargo, sólo han podido competir con los sistemas celulares en el área de los pequeños mercados, donde el problema de congestión del sistema no se ha presentado.

Hasta ahora, la aplicación directa que se ha dado al concepto celular se encuentra en el campo de las comunicaciones móviles en áreas urbanas, las cuales se caracterizan por presentar una gran densidad de población. Sin embargo, se ha encontrado un gran

mercado potencial en las áreas rurales, donde el empleo de unidades de abonado fijas representa un método efectivo y barato para proveer servicio telefónico. Aunado a lo anterior, el uso adicional de unidades móviles y/o portátiles proporciona un sistema telefónico no-cableado con una gran flexibilidad agregada, cualidad imprescindible en los pequeños mercados. <7>

Los sistemas celulares terrestres, cableados o no-cableados, han estado a la vanguardia en cuanto a sofisticación tecnológica en áreas específicas como microelectrónica, teoría de propagación, conmutación y circuitería de radiofrecuencia, y han establecido la existencia de la necesidad de amplios sistemas radiotelefónicos en áreas "no urbanas": siendo precisamente en este campo donde dichos sistemas han demostrado limitaciones, para lo cual el enlace satelital representa la solución obligada debido a sus sobresalientes cualidades técnicas y de cobertura.<8>

II.3) CARACTERISTICAS DE OPERACION

SEÑALIZACION

Las características de la señalización en sistemas celulares varían de sistema a sistema: de hecho, esto representa uno de los mayores obstáculos para lograr la estandarización que permita la compatibilidad entre sistemas a fin poder ofrecer un servicio telefónico de cobertura nacional e internacional.

Sin embargo, existen algunos elementos generales que permiten describir las cualidades más sobresalientes de la señalización en sistemas celulares.

En primer lugar, todos los procedimientos de señalización se realizan a través de canales de control común que pueden ser accedidos en todo momento por cualquier unidad de abonado o por la OCTM.

Además, existen algunos elementos de señalización muy representativos dentro de un sistema celular : <9>

Número de Identificación de Móvil: Número binario de identificación de unidad de abonado basado en su número telefónico digital.

Marca de Clase: Elemento numérico almacenado en la unidad de abonado que identifica el tipo de móvil que es y su rango de potencia, así como el tipo de transmisión utilizado (continua o discontinua).

Número de Serie: Este elemento identifica de manera única a cada base celular perteneciente al sistema.

Identificación de Sistema: Identificación digital asociada con un sistema celular determinado. Cada sistema tiene asignado un número único de identificación.

Canal de Acceso: Canal de control utilizado por una unidad de abonado a fin de acceder al sistema y así obtener servicio.

Canal de Localización: Canal de control utilizado por la base celular para sondear o localizar unidades de abonado y enviarles instrucciones.

DESCRIPCION DE TRAYECTORIA DE LLAMADAS

Se presentan tres tipos diferentes de llamada en cualquier sistema celular convencional:

- a) Llamada de móvil a fijo : Al descolgar, el móvil solicita, vía la base celular en la que se encuentra, un canal a la OCTM, transmitiendo a través del canal común de señalización un mensaje que contiene la identificación del móvil y la de la célula en servicio, así como el número deseado.

Cuando el mensaje es correcto, la OCTM asigna a través de la BC un canal libre de comunicación y, a través del canal de control, le ordena al móvil que se sintonice a él. Simultáneamente a todo lo anterior, la OCTM ha establecido contacto con la red pública conmutada marcando el número solicitado. A partir de ese momento, el móvil tiene asignado un canal de comunicación para el tiempo que dure la conversación.

b) Llamada de fijo a móvil : para acceder a la OCTM, el abonado a la red pública conmutada marca un prefijo y posteriormente marca el número de identificación del móvil deseado; entonces, la OCTM, a través de las BC's llama a todos los vehículos a través del canal de control. Todos los móviles reciben el número y lo comparan con el suyo. Aquél que tiene el número indicado responde por el canal de control y, automáticamente, el sistema le concede un canal de comunicación.

c) Llamada entre móviles : Este tipo de comunicación involucra en su establecimiento, una combinación de los dos procedimientos anteriores. La solicitud y asignación del canal de comunicación para el móvil que llama son idénticas al primer caso, mientras que la localización y "amarra" del móvil llamado son idénticos al segundo. En este caso, se asignan dos canales de comunicación para la conversación, a diferencia de los dos casos anteriores; y se puede presentar o no la comunicación entre BC's y la OCTM, si los móviles se encuentran en células diferentes o en la misma célula, respectivamente.

II.1) ARQUITECTURA DEL SISTEMA

FORMACION DE GRUPOS

Como se mencionó anteriormente, la división del área de cobertura en células tiene como objetivo primordial el óptimo aprovechamiento del espectro de frecuencias mediante el reuso de las mismas; de esta manera, la capacidad del sistema se ve incrementada considerablemente.

A fin de poder reutilizar las frecuencias disponibles, se lleva a cabo la formación de grupos de "N" células dentro de los cuales se distribuirán las mencionadas frecuencias, que también han sido ordenadas en "N" grupos. Es decir, cada grupo de células utilizará todas las frecuencias disponibles y éstas se volverán a utilizar en otro grupo (Figura 2.2).

DISTANCIA DE REUSO

Simples consideraciones geométricas muestran que la distancia entre BC's que usan el mismo conjunto de frecuencias está dada por:

$$D = \sqrt{3N} R$$

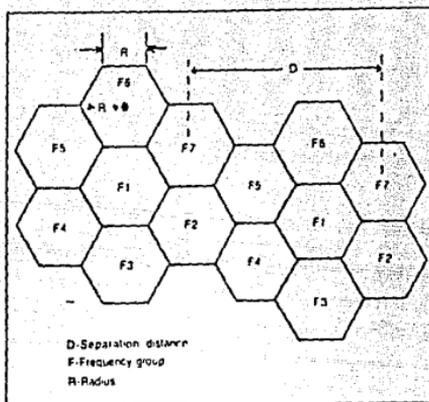
donde: D = distancia mínima de reuso

N = número de células por grupo

R = radio mayor de entre las células involucradas

De lo anterior se deduce que la posibilidad de interferencia co-canal es menor si N se incrementa, reduciendo sin embargo el número de canales por célula. Esto implica que el diseño del

"layour" celular requiere de un compromiso entre la calidad de transmisión y recepción y la eficiencia del espectro de frecuencias. <10>



	Channel Set 1		Channel Set 2		Channel Set 3		Channel Set 4		Channel Set 5		Channel Set 6		Channel Set 7	
	Chan No.	Base Freq.												
Control	(334)	860 020	(335)	860 050	(336)	860 080	(337)	860 110	(338)	860 140	(339)	860 170	(340)	860 200
Voice	(355)	860 650	(356)	860 680	(357)	860 710	(358)	860 740	(359)	860 770	(360)	860 800	(361)	860 830
	(375)	861 280	(376)	861 310	(378)	861 340	(379)	861 370	(380)	861 400	(381)	861 430	(382)	861 460
	(397)	861 910	(398)	861 940	(399)	861 970	(400)	862 000	(401)	862 030	(402)	862 060	(403)	862 090
	(418)	862 540	(419)	862 570	(420)	862 600	(421)	862 630	(422)	862 660	(423)	862 690	(424)	862 720
	(439)	863 170	(440)	863 200	(441)	863 230	(442)	863 260	(443)	863 290	(444)	863 320	(445)	863 350
	(460)	863 880	(461)	863 910	(462)	863 940	(463)	863 970	(464)	864 000	(465)	864 030	(466)	864 060
	(481)	864 430	(482)	864 460	(483)	864 490	(484)	864 520	(485)	864 550	(486)	864 580	(487)	864 610
	(502)	865 060	(503)	865 090	(504)	865 120	(505)	865 150	(506)	865 180	(507)	865 210	(508)	865 240
	(523)	865 690	(524)	865 720	(525)	865 750	(526)	865 780	(527)	865 810	(528)	865 840	(529)	865 870
	(544)	866 320	(545)	866 350	(546)	866 380	(547)	866 410	(548)	866 440	(549)	866 470	(550)	866 500
	(565)	866 950	(566)	866 980	(567)	867 010	(568)	867 040	(569)	867 070	(570)	867 100	(571)	867 130
	(586)	867 580	(587)	867 610	(588)	867 640	(589)	867 670	(590)	867 700	(591)	867 730	(592)	867 760
	(607)	868 210	(608)	868 240	(609)	868 270	(610)	868 300	(611)	868 330	(612)	868 360	(613)	868 390
	(628)	868 840	(629)	868 870	(630)	868 900	(631)	868 930	(632)	868 960	(633)	868 990	(634)	869 020
	(649)	869 470	(650)	869 500	(651)	869 530	(652)	869 560	(653)	869 590	(654)	869 620	(655)	869 650

Figura 2.2

CONFIGURACIONES

Una de las cualidades más sobresalientes a nivel sistema es lo relativo a la flexibilidad del concepto celular: esto se refiere a la notable facilidad que presentan los sistemas celulares para adoptar diferentes configuraciones y, por lo tanto, modificar la jerarquía de sus componentes.

En el caso de sistemas celulares cableados se presentan generalmente dos tipos de configuraciones:

La configuración "estrella", que es la más utilizada, enlaza directamente a todas las BC's con la OCTM del sistema, estableciéndose dos niveles jerárquicos: uno inferior, que comprende el ámbito de la célula; y otro superior, que comprende las interacciones entre célula y la OCTM. Aunque este tipo de configuración implica una fuerte centralización de las funciones y del tráfico del sistema, ha proporcionado un eficiente control de las comunicaciones en el mismo. Sin embargo, algunos sistemas han establecido una configuración estrella modificada que ofrece menos centralización mediante la inclusión de varias OCTM's, cada una de las cuales tiene asignada una parte del número total de células del sistema y se comunica con las demás en forma automática, manteniendo siempre el mismo nivel jerárquico (Figura 2.3).

Existen otros sistemas que presentan una configuración sumamente distribuida mediante la conexión directa de las células con sus aledaños, impidiéndose así la centralización del tráfico en la OCTM. Es decir, la comunicación entre células se lleva a

caso entre BC's, sin la intervención de la OCTM en el flujo de la comunicación, excepto para el caso de llamadas entre unidades fija y móvil para las cuales el paso por la OCTM es obligado.

Para el caso de sistemas no-cableados con cobertura a áreas rurales, la configuración utilizada es la tipo "estrella" con el satélite como enlace natural entre células. Esto es debido a que para este tipo de aplicaciones, el tamaño de las células es lo suficientemente grande como para establecer el enlace entre ellas a través de satélite, en lugar de microondas. (Figura 2.4)

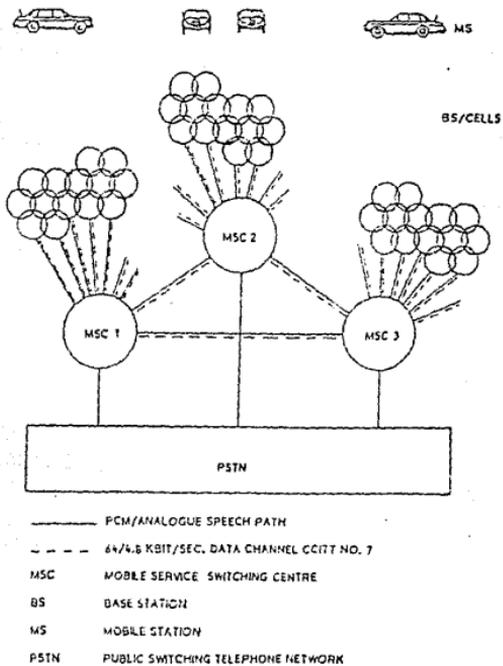


Figura 2.3

Sin embargo, la antes mencionada flexibilidad del concepto celular permite combinar diferentes configuraciones y así "inventar" nuevas arquitecturas que incluso presenten múltiples niveles jerárquicos. Evidentemente, la complejidad en el manejo del tráfico del sistema es función del tipo de configuración empleado, de manera que se establece un compromiso entre estos dos elementos que en mayor o menor grado repercuten en costos de equipo, software, mantenimiento, etc.

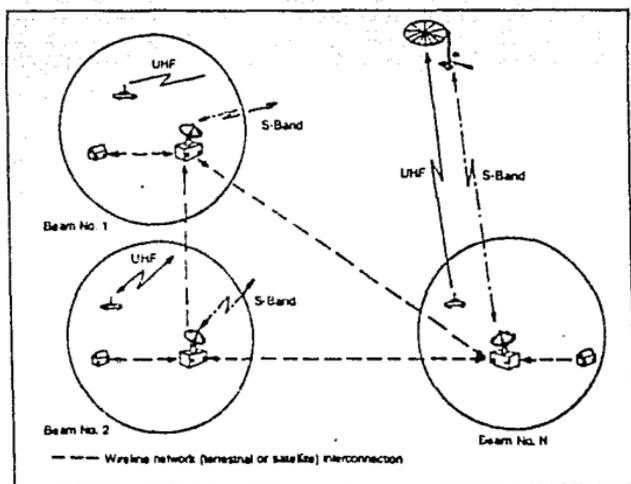


Figura 2.4

II.5) SITUACION ACTUAL DEL DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA CELULAR EN EL MUNDO

Para analizar las condiciones de desarrollo en materia de telefonía celular en el mundo, es conveniente observar con detalle los avances, así como las dificultades a vencer en cuanto a crecimiento, ventajas y desventajas, eficiencia y relación costo/beneficio, tanto para el abonado como para la compañía que ofrece el servicio; todo lo anterior presenta características muy variadas, dependiendo del país y del continente de que se hable.

ESTADOS UNIDOS

En la ciudad de Chicago, Illinois, se llevaron a efecto importantes estudios e investigaciones en cuestión de radio celular; durante la década de los 70's los sistemas desarrollados entonces se denominaron AMPS (Advanced Mobile Phone System).

Este sistema fue diseñado para satisfacer los siguientes objetivos:

- * Cobertura nacional;
- * Uso eficiente del espectro de frecuencias asignado.
- * Capacidad técnica y económica tanto en pequeñas áreas de servicio de miles de usuarios, como en grandes áreas con cientos de miles de usuarios.

La FCC (Federal Communications Commission) otorgó una banda de frecuencias de 115 MHz entre los 806 y los 947 MHz para el servicio de los sistemas celulares; éstos se implantaron

primeramente en Chicago, Buffalo y Detroit, contando con 666 canales full-duplex. Se utiliza además un patrón de reuso de frecuencias de 7 células por grupo, lo cual provee alrededor de 96 canales por célula.

El sistema AMPS explota básicamente tres tecnologías:

- 1) Cómputo centralizado con control por programa almacenado y sistemas de conmutación;
- 2) Circuitos especializados con integración a gran escala;
- 3) Microprocesadores.

Las bases celulares están interconectadas con la OCTM a través de cable (Figura 2.5). En el desarrollo del sistema AMPS se consideraron dos niveles de evolución: el sistema de arranque (start-up system), y el sistema maduro (mature system); el primero presenta las bases celulares en el centro de cada célula y utiliza antenas omnidireccionales, mientras que en el segundo, las BC's se encuentran alternadamente en los vértices de las células y utilizan antenas direccionables <11>. Los canales de control utilizan códigos BCH y una tasa de transmisión de 10 Kbits/s.

La AT&T (American Telephone and Telegraph) propuso desde hace más de 15 años la idea de utilizar el sistema celular; sin embargo, el papel que jugaba el gobierno hasta antes de 1981, había retrasado la aplicación de este nuevo enfoque de las comunicaciones y solamente 14 de las 30 ciudades más importantes de los Estados Unidos tenían, a esa fecha, un sistema telefónico celular.

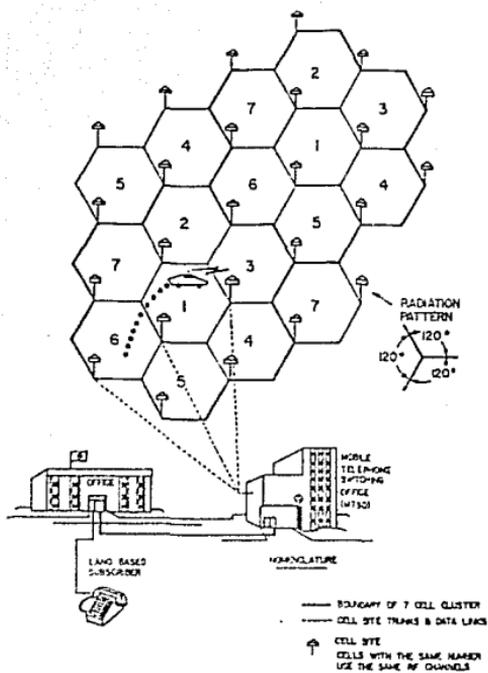


Figura 2.5

El retraso provocó, contra lo que pudiera suponerse, algunos efectos positivos notables en ahorro de espacio y consumo de energía, así como en la obtención de formatos de señalización mucho más eficientes y confiables; lo anterior, derivado de un constante desarrollo tecnológico.

En 1961, a partir de la discordia surgida entre los partidarios de los sistemas telefónicos alámbricos y los inalámbricos, la FCC decidió otorgar dos licencias comerciales por ciudad, asignando 20 MHz a cada parte.

Las empresas que apoyan los sistemas alámbricos son las compañías telefónicas convencionales, como la GTE, United Telecom, Continental y 7 subsidiarias regionales de AT&T. Estas compañías presentan una seria limitación, privan al país de un sistema de telefonía celular nacional homogéneo debido precisamente a la diversidad de las compañías que prestan el servicio. Sin embargo, poseen ventaja significativa sobre las compañías que trabajan sistemas inalámbricos debido a su mayor cantidad de recursos y experiencia.

Por otra parte, una desventaja para las compañías que manejan sistemas inalámbricos proporcionando servicio de radiotelefonía celular, es el hecho de que no cuentan en la actualidad con instalaciones para transmisión a teléfonos convencionales a través de red conmutada, por lo que deben recibir accesos a través de las redes telefónicas terrestres ya establecidas por otras compañías.

A partir del nuevo enfoque, el número de sistemas celulares se ha incrementado considerablemente, contándose a la fecha con alrededor de 180 sistemas en operación y una adición de varias ciudades cada mes. De lo anterior se prevé que para finales de 1988, el total de las 305 áreas metropolitanas contarán con cobertura celular completa.<12>

De entre los sistemas celulares que prestan servicio actualmente en Estados Unidos, los que operan en Chicago y en Los Angeles revisten gran importancia por sus características particulares.

El sistema operado en Chicago desde Octubre de 1983 <13>, por la compañía Ameritech Mobile Communications, ha presentado un crecimiento tan dinámico (20,000 abonados a mediados de 1985), que para reducir los niveles de ocupación de las células (el volumen de llamadas se incrementó 500% en 18 meses), se tuvo que llevar al plano práctico algunos conceptos que hasta ese momento se encontraban desarrollados teóricamente; entre éstos podemos encontrar:

- * La división de células primarias en secundarias y posteriormente, en terciarias.
- * El concepto de "células traslapadas".
- * Conversión de células omnidireccionales a direccionales.

En Junio de 1984, la compañía Pactel Mobile Access empezó a operar un sistema celular en Los Angeles, Cal., que duplicó la cantidad de abonados previstos para el final del primer año de funcionamiento (8,000 abonados) <14>. Después de iniciar operaciones con 16 células, el número de las mismas se incrementó a 24 e incluso se logró la autorización de la FCC para ofrecer el servicio mar adentro. Dado que este sistema está limitado por interferencia, se han establecido algunas políticas de crecimiento que, aunadas a técnicas específicas, han permitido cubrir adecuadamente la pujante demanda. De entre éstas técnicas sobresale la correspondiente al concepto de "células vecinas".

Algunos expertos opinan, con relación al desarrollo futuro de los sistemas celulares, que a pesar del retraso debido a la ineficiencia y burocratización de la FCC, se prevee una red celular de cobertura nacional en los Estados Unidos para los próximos 10 años con el 90% de la población en posibilidad de accederla.

I N G L A T E R R A

La comunicación a través de los sistemas de radiotelefonía ha sido utilizada desde hace varias décadas en Inglaterra: existen actualmente cerca de 800.000 usuarios de este tipo de comunicación. Los sistemas convencionales empezaron a tener dificultades para cubrir la necesidad de un mínimo de 8% de expansión anual.

Por lo anterior, el gobierno británico ha autorizado los servicios de dos compañías: Telecom Securior Celular Radio (TSCR), que ha desarrollado el sistema CELLNET; y la compañía Racal Electronics-Millicom, que maneja el sistema Racal-Vodafone.<15>

Después de la Conferencia Mundial sobre Administración de Radio (WARC) y de la Conferencia Europea de Ministerios Postales y de Telecomunicaciones (CEPT), se acordó establecer un plan de asignación de frecuencias usando las bandas de 890-915 MHz y de 935-960 MHz con un espaciamiento entre canales de 25 KHz, orientado al ofrecimiento de servicios de telefonía móvil. Debido

a lo anterior, las compañías mencionadas debieron escoger entre tres opciones posibles: adoptar un sistema existente que había sido planeado considerando el mencionado espaciamento; crear un nuevo sistema basado en el mismo; modificar algún sistema desarrollado con otro espaciamento.<16>

La opción tomada fue la última, de manera que se modificó el sistema americano AMPS para manejar un espaciamento de 25 KHz. A este sistema modificado se le conoce como TACS (Total Access Communications System)(Tabla 2.1). La gran ventaja de esta decisión fue el evitar un prolongado y caro programa de desarrollo y prueba.

El sistema CELLNET inició operaciones en Enero de 1985. Para Agosto del mismo año, el sistema contaba con 90 células ofreciendo servicio a Londres, Birmingham, Manchester y Liverpool. Actualmente, se tiene una cobertura de aproximadamente el 80% de la población del país considerándose a este sistema como el mejor en lo referente a teléfonos portátiles.

MAIN RADIO SYSTEM PARAMETER COMPARISON

Items	U.S. AMPS	U.K. TACS
Transmit frequency band (MHz)		
—base stations	870-890	925-950
—mobile stations	825-845	890-915
Channel spacing (kHz)	30	25
Voice signals		
—type of modulation	FM	FM
—peak deviation (kHz)	±12.0	±9.5
Control signals		
—type of modulation	FSK	FSK
—type of code	Manchester	Manchester
—transmission rate (kbps)	10.0	8.0
—peak deviation (kHz)	±8.0	±6.1

Tabla 2.1

ESCANDINAVIA

La red telefónica celular más grande, madura y exitosa del mundo es el Sistema Móvil Nórdico (NMT, por sus siglas en inglés). Aunque de creación relativamente reciente, pues empezó a operar en 1981, es el primer y único sistema celular internacional en operación; el crecimiento del número de suscriptores rebasó con mucho todas las predicciones. En Suecia, la predicción inicial para 1990 era de 45.000 abonados; actualmente se cuenta con más de 100.000 estimándose un nuevo pronóstico para el mismo año de 260.000. El mismo fenómeno se ha presentado en los demás países nórdicos, de manera que la población total del sistema es actualmente de 270.000 suscriptores con un pronóstico de 400.000 para finales de la década. <17>

Dado que el NMT opera en la banda de los 450 MHz, con 180 canales disponibles, y debido al explosivo crecimiento del sistema, pronto aparecieron severos problemas de capacidad por escasez de canales disponibles. Como medida provisional, se reestructuró el sistema reduciendo el tamaño de las células; sin embargo, el sistema pronto se verá nuevamente saturado.

Como medida de largo plazo, se empezó a instalar a principios de 1987 un nuevo sistema paralelo en la banda de los 900 MHz, el NMT-900 <18>. Dado las características de propagación, el NMT-900 puede manejar mayores rangos de transmisión, por lo que éste es más adecuado para aplicaciones

rurales: en contraste, la banda de 900 MHz ofrece mejores características para cobertura urbana (Figura 2.6). Al igual que el sistema británico TACS, el NMT-900 adoptó el espaciamiento entre canales de 25 KHz; sin embargo, se diseñó también un intercalamiento de canales con una separación de 12.5 KHz con los originales, permitiendo pasar de 1,000 canales disponibles a 1,999.

Por otra parte, la red NMT presenta ventajas significativas de infraestructura, ya que incluye servicios adicionales como marcaje reducido, memoria de llamadas múltiples, servicios secretariales gratuitos, conexiones con todas las redes del mundo, etc.

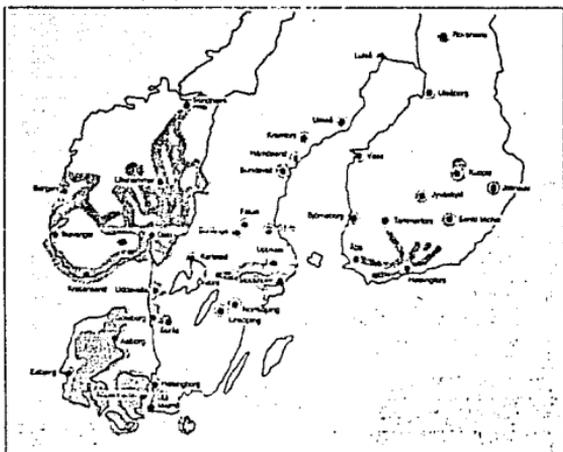


Figura 2.6

F R A N C I A

Hasta 1986, Francia había estado a la esga respecto a otras naciones industrializadas en lo referente a comunicaciones móviles. Actualmente existen, además de dos servicios públicos de radio-teléfono convencional que operan en áreas locales alrededor de las más importantes ciudades del país, cerca de 30.000 sistemas radiotelefónicos privados para ambulancias, flotas de taxis, etc. Existen alrededor de 200.000 teléfonos móviles de todo tipo en el país. <19>

Reconociendo la latente demanda por servicios mejorados de comunicación móvil, la Administración de Telecomunicaciones Francesa decidió en 1980 construir un sistema radiotelefónico de cobertura nacional que pudiera soportar tanto un sistema abierto para radiotelefonos ordinarios, como sistemas privados para flotillas privadas. El mencionado sistema, de estructura celular, es conocido como Radiocom 2000, el cual comenzó a operar en la zona de París en Noviembre de 1985. <20>

El sistema opera en la banda de los 400 MHz en todas sus zonas de cobertura y además, opera en los 200 MHz en París, Lyon y Marsella para proporcionar cobertura adicional. El espaciamiento entre canales es de 12.5 KHz.

Radiocom 2000 presenta importantes cualidades en comparación con otros sistemas: <21>

* El sistema permite alojar los canales disponibles tanto para el sistema público como para sistemas privados, de manera que cualquier abonado puede operar en cualquiera de los dos servicios. Esto permite un uso más eficiente de dichos canales. En el caso de sistemas privados, la comunicación entre el móvil y su central se realiza enteramente a través de radio, evitándose el enlace a través de la red conmutada (Figura 2.7) .

* Radiocom 2000 es un sistema altamente descentralizado evitando la dependencia en una OCTM y la utilización de líneas dedicadas. Dado que cada BC se conecta directamente con el conmutador telefónico más cercano, el sistema salva el problema de conexiones de larga distancia a través de la OCTM convencional en llamadas de móvil a fijo dentro de la misma Área. Debido a este esquema de descentralización, el sistema contempla un procedimiento continuo de registro de la posición de todas las unidades móviles, esta información se almacena y actualiza constantemente en la BC "hogar" o asignada para un móvil determinado, mediante una comunicación constante entre BC's a través de la red conmutada (Figura 2.8) .

En estricto sentido, Radiocom 2000 fue en su inicio un sistema cuasi-celular, ya que no presentaba la posibilidad de transferir llamadas al pasar los móviles de una célula a otra (hand-off); esto era debido a que el fenómeno ocurría con una frecuencia tan baja, que no justificaba la inclusión de dicha cualidad. Sin embargo, al crecer la demanda y al presentarse nuevas aplicaciones del sistema, particularmente en el transporte ferroviario, se decidió implementar esta facilidad en algunas

células; para las demás, las conversaciones deben terminarse dentro de la misma célula en que se iniciaron o perderse al salir de ella. Para finales de la década, se pretende contar con un sistema maduro de 500 células atendiendo alrededor de 300.000 abonados. <22>

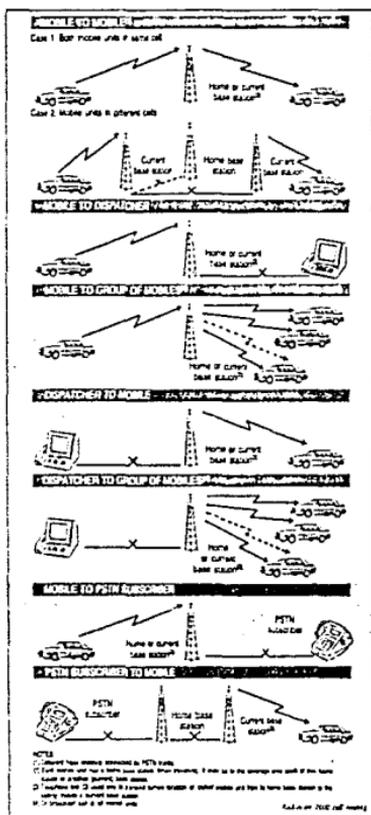


Figura 2.7

A L E M A N I A F E D E R A L

En la República Federal Alemana, la mitad de los ciudadanos tienen un teléfono convencional y automóvil; por consiguiente, la demanda potencial por servicios telefónicos móviles es enorme. De hecho, sólo se ha satisfecho alrededor del 1% de dicha demanda.<23>

En respuesta a lo anterior, la Administración de Telecomunicaciones de Alemania (PTT) lanzó una convocatoria para la creación de un sistema radiotelefónico nacional. El ganador fue la compañía alemana Siemens que, bajo el concepto celular, propuso el llamado Sistema C.

Los Sistemas C450/900 fueron diseñados para operar como sistemas móviles públicos digitales, con una tasa de transmisión de 4.8 Kb/s; sin embargo, ante la ausencia de codificadores adecuados de voz, el sistema inició con transmisión análoga de voz sin descartar la naturaleza digital del diseño. <24>

El sistema inició su operación comercial en Octubre de 1985, con 95 células pretendiéndose llegar a manejar una capacidad total de 400,000 abonados.

De acuerdo con el estándar europeo, el Sistema C450 opera en la banda de los 450 MHz con 222 canales disponibles, un espaciamiento entre ellos de 20 KHz y una separación para la comunicación full-duplex de 10 MHz; análogamente, el Sistema C900

opera en la banda de los 900 MHz con 1,000 canales disponibles, un espaciamiento de 25 KHz y una separación duplex de 45 MHz.

La estructura del sistema es la convencionalmente usada para sistemas cableados; sin embargo, se presenta cierta descentralización al nivel más alto ya que se manejan varias OCTM's conectadas entre sí en forma directa, atendiendo cada una de ellas un subconjunto de células.

J A P O N <25>

En diciembre de 1979, el Ministerio de Telecomunicaciones de Japón (NTT) introdujo un sistema telefónico celular móvil, el cual opera en la banda de los 800 MHz. Al igual que en otros países, los servicios de comunicación móvil habían sido ofrecidos desde tiempo atrás en Japón (30 años); sin embargo, el reducido número de canales disponibles no podía enfrentar la creciente demanda.

La capacidad del sistema original, con sus 2 bandas de 15 MHz, es aproximadamente de 30,000 abonados en el Área metropolitana de Tokio. Para febrero de 1986 el sistema contaba con 51 Áreas de servicio y un número total de suscriptores de 43,000, pronosticándose llegar al límite mencionado para Tokio antes de 1990. Por consiguiente, la NTT empezó a desarrollar un nuevo sistema celular de alta capacidad para ser operado también en la banda de los 800 MHz.

El nuevo sistema en desarrollo fue sobrepuesto al original siguiendo la tendencia de otros países (v.gr. Escandinavia), en 1988. Sus principales características serán: Transmisión en Banda Angosta, Diversidad en Recepción, Reasignación flexible de canales tanto dentro de cada célula, como entre ellas, Despliegue en pequeñas células y Control Adaptativo de la Potencia de Transmisión (Tabla 2.2).

Item		Features
Radio Frequency		800 MHz Band
Duplex Spacing		55 MHz (55 MHz)
Channel Spacing		12.5 kHz (25 kHz)
Modulation	Voice	Analog FM
	Data	2400 b/s SP-FSK (300 b/s) 100 b/s "GSM-voiceless"
Diversity		Two Branch Pseudodiversity Selection
Speech Quality		Sound Articulation B/W (CIR ₂ 13 dB) (CIR ₂ 13 dB (15 dB))
Outage Probability		10% (10%)
Transmitter Power	Base	5 W (25 W)
	Mobile	1 W (5 W)
Zone Radius		3 km (5 km)
Number of Zones Reuse Cluster		9 (12)

Tabla 2.2

RESTO DEL MUNDO

Indudablemente, el estándar celular más exitoso es el correspondiente al NMT noreuropeo, ya que éste ha sido adoptado por un buen número de países: Arabia Saudita, España, Austria, Holanda, Bélgica, Luxemburgo, Islandia, Australia, Túnez, Malasia, Omán, China, Tailandia, Turquía e Indonesia <26>. Dentro de estos países, el que presenta mayor desarrollo de la red

pública es Arabia Saudita, con 32 ciudades cubiertas por el sistema, para un total de 20.000 abonados operando en la banda de los 450 MHz. En España funciona desde 1983 un sistema semejante (TMA), el cual se pretende alcance a cubrir 26 capitales provinciales para finales de la década. <27>

En México se han tenido dos acuerdos en cuanto al establecimiento de sistemas celulares: En primer lugar, se adquirió un sistema celular privado para el Departamento del D.F. en base al sistema francés Radiocom 2000, operando en la banda de los 400 MHz; el sistema inició sus operaciones con 2.200 unidades <28>. Por otro lado, se establecieron acuerdos relativos a administración del espectro para sistemas celulares americanos que llegarán a abarcar territorio fronterizo mexicano.

A fines de 1989 se lanzó la convocatoria para concesionar el servicio telefónico celular por regiones en todo el territorio nacional bajo el criterio americano de dos concesiones por región. A principios de 1990 se otorgaron las primeras concesiones del servicio en cada una de las regiones establecidas.

II.5) TENDENCIAS DE LA TECNOLOGIA CELULAR

Hasta la fecha, el concepto celular se ha aplicado en pequeñas áreas urbanas sin ningún tipo de interconexión y utilizando sistemas con características diferentes entre si. Se ha observado un creciente esfuerzo de las administraciones de telecomunicaciones para lograr un sistema de cobertura amplia con interconectividad internacional.

En este sentido, se pretende la creación de un Sistema Pan-europeo en la banda de los 900 MHz. Este sistema deberá tener cobertura total a fin de servir a millones de suscriptores en Europa Occidental; asimismo, deberá ser lo suficientemente flexible como para proveer servicios económicos tanto en áreas urbanas como en áreas rurales. Entre sus características principales tendríamos: transmisión de voz y datos, uso óptimo del espectro, reuso de canales, medidas de seguridad contra uso no autorizado del sistema, alta confiabilidad, jerarquía para llamadas prioritarias o de emergencia e interfaz apropiada con las redes públicas convencionales. <29>

Por otro lado, la introducción del satélite en sistemas celulares se está considerando de manera muy importante para el logro de la mencionada "cobertura total". En este sentido, tanto la NASA, como la ESA (Agencia Espacial Europea, por sus siglas en inglés), están desarrollando proyectos tendientes al establecimiento de Sistemas Terrestres Móviles Via-Satélite (LMSS, por sus siglas en inglés)(Figura 2.9). Frecuentemente se ha dado el caso de comparar las técnicas de comunicación por

satélite con aquéllas de los sistemas clásicos, bajo criterios que sólo son aplicables a éstos últimos; esto es particularmente visible en lo que concierne a comunicaciones móviles y, en este contexto, es obvio que un sistema satelital no puede competir con los sistemas celulares terrestres ya establecidos. Sin embargo, dicho sistema debe ser considerado por lo que mejor puede proporcionar: amplia área de cobertura y flexibilidad. <30>

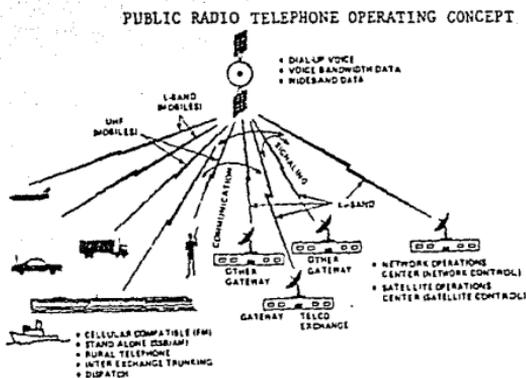


Figura 2.9

En cuanto a la cobertura, un sistema via-satélite mejoraría dicha cobertura en áreas de baja densidad de población (rurales) y complementaría el servicio de todo tipo de sistemas celulares básicos (v. gr. aéreo, marítimo, urbano). En cuanto a la flexibilidad, esto se traduce en la rápida implementación de nuevos servicios y en la habilidad de adaptación a nuevas situaciones de operación. En otras palabras, los sistemas de comunicación via-satélite jugarán un papel complementario muy importante para los sistemas terrestres convencionales.

En el caso de la NASA, la propuesta MOBILESAT es muy representativa. En ésta se plantea la utilización de dos satélites geostacionarios, con los cuales el reuso de frecuencias se obtendría a través del empleo de antenas direccionables en las unidades móviles. Se pretende contar al séptimo año de operación con alrededor de 1.2 millones de usuarios, para lo cual se utilizarían 350 canales bajo un costo inferior a un sistema convencional equivalente. La primera generación de estos satélites tendría antenas de 3.5 m de diámetro; pero las subsecuentes contarían con antenas de 20 metros o más (Figura 2.10), a fin de permitir un mayor reuso de frecuencias en la asignación de canales a través de los "haces pincel" resultantes. <31>

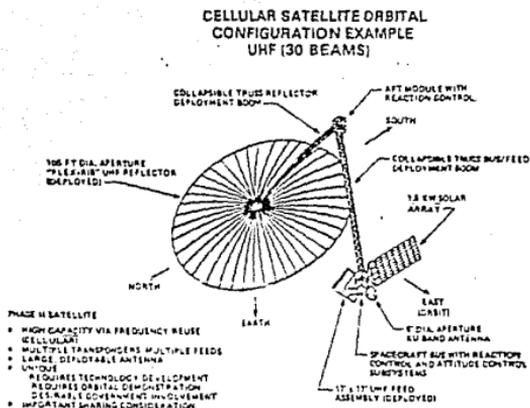


Figura 2.10

La configuración del sistema considera unidades de abonado, bases celulares y el satélite. Como en todo sistema celular, se pretenden incluir procedimientos de sondeo, asignación de canales, hand-offs, señalización, etc. Se manejarán "haces pínzel" en UHF para el enlace entre unidad de abonado y satélite, y en banda S para el enlace entre base celular y satélite; asimismo, las bases celulares harán la interfaz con la red conmutada a fin de enrutar llamadas a través del sistema (Figura 2.11).

Por otro lado, el desarrollo de unidades de abonado realmente portátiles contribuirá notablemente a la evolución de los sistemas celulares; esto es debido a que los portátiles son considerados como de mayor utilidad por los abonados actuales y los compradores potenciales, dada la movilidad que ofrecen. Lo anterior dará fuerte impulso al desarrollo de servicios de comunicación personal.

La primera generación de sistemas celulares, implementada en los primeros años de la década de los ochentas, se caracteriza por su naturaleza primordialmente analógica; sobre todo en lo que respecta a la transmisión de voz. Se espera que para finales de los ochentas y principios de los noventas, se implementen sistemas celulares de la segunda generación, los cuales serán de naturaleza completamente digital, permitiendo la transmisión de voz y datos indistintamente. <32>

Se espera una penetración masiva en el mercado a través de sistemas totalmente digitales que funcionen como redes locales a fin de agregar capacidad al sistema convencional: esto se presentará principalmente en países en vías de desarrollo y en las regiones rurales de los países desarrollados occidentales.

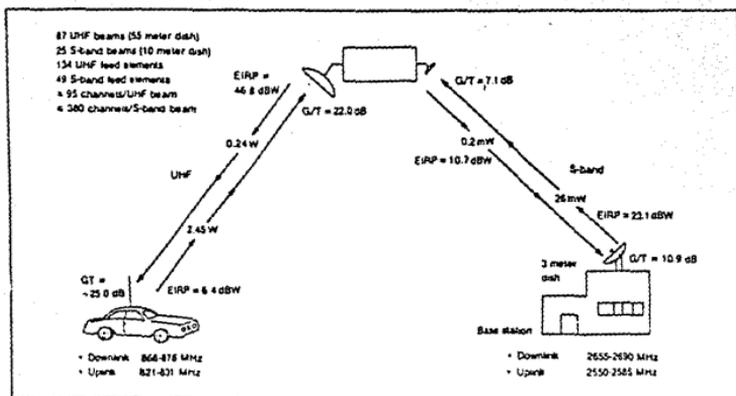


Figura 2.11

CAPITULO III

ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR

En este capítulo se profundiza en algunos aspectos, tanto ambientales como técnicos, que afectan de manera importante el desempeño de los sistemas de comunicación en general. Se enfatiza en las técnicas de modulación más utilizadas y en ciertas cualidades técnicas que son propias del concepto celular y que lo hacen único.

III.1) GEOGRAFIA, MEDIO AMBIENTE Y DEMANDA

Las características de la propagación de microondas en regiones urbanizadas dependen fuertemente de la naturaleza del medio ambiente; el comportamiento del fenómeno de multitrayectoria es, en general, de naturaleza no-estacionaria, de manera que los datos que pudieran describir el desempeño de la propagación en una región determinada son muy específicos y la generalización de características locales a globales es un problema difícil.

La variabilidad en la homogeneidad del medio ambiente influencia la dispersibilidad del canal y los cambios en los parámetros del mismo reflejan estas características.<1>

Cuando las irregularidades del terreno son moderadas, aumentan el valor promedio de la intensidad de campo ya que éstas suprimen la interacción perjudicial que se presenta entre la propagación directa de la señal y las reflexiones o difracciones de la misma; sin embargo, cuando las irregularidades y obstáculos son mayores, la señal se atenúa por absorción y/o dispersión. Por otra parte, las características ambientales influyen en la elección de la banda de frecuencias a utilizar en un sistema, ya que es la frecuencia la que determina la mayor o menor tendencia de las señales hacia fenómenos como la reflexión o la penetración. Por ejemplo, las señales en la banda de los 900 MHz, de uso reciente, son más propicias a la reflexión; por lo que el análisis de las características ambientales del área de servicio, en relación al comportamiento de dichas señales, debe tomar en cuenta esta situación en particular.

En lo referente a zonas edificadas, se ha establecido una clasificación (Okumura) que presenta niveles de atenuación muy generales y que sólo da idea del orden de magnitud de ésta, dada la gran variación que se presenta en las mediciones tomadas en distintas ciudades y a la dificultad de realizarlas en las mismas condiciones:

AREA ABIERTA, aquella en la que no hay árboles o edificios en el trayecto de propagación. En ésta se considera una pérdida máxima de 6 dB entre la potencia de transmisión y de recepción.

AREA SUBURBANA, aquella con algunos edificios pequeños y árboles, la zona cercana al móvil tiene algunos obstáculos pero de poca importancia. El valor típico de atenuación de la señal transmitida está en torno a los 13 dB.

AREA URBANA, aquella con edificios altos y juntos. Presenta valores representativos de atenuación de la señal transmitida de entre 20 y 26 dB.

De entre los factores naturales que afectan los radioenlaces se encuentran la lluvia, la "rugosidad" del terreno, la curvatura del mismo, la refracción y reflexión de la señal al penetrar en distintas capas atmosféricas, etc.: sin embargo, en lo que respecta al enlace satelital, es el primer factor el que perjudica especialmente la calidad y continuidad del mismo.

La problemática de la lluvia en los radionlaces terrestres puede ser solucionada con un adecuado estudio de la longitud de los mismos. Por otro lado, en los radionlaces espaciales, las técnicas son otras, ya que en este caso existen dos enlaces solamente (ascendente y descendente), ambos en bandas de frecuencias diferentes y, con características también diferentes, por lo que las técnicas para solucionar la problemática de la lluvia son distintas para ambos enlaces.<2>

Si la transmisión es digital y el repetidor del satélite es regenerativo, ambos enlaces pueden considerarse independientes y, por lo tanto, la recepción sólo viene afectada por lo que sucede en el enlace descendente. Si la transmisión es analógica, que es todavía lo usual, la recepción viene afectada además por lo que sucede en el enlace ascendente, ya que el repetidor amplificará el ruido agregado durante el ascenso de la señal. La atenuación debida a la lluvia en el trayecto ascendente implica que también el descendente se ve afectado y por tanto, la relación total portadora a ruido $(C/N)_t$ es doblemente afectada.

Dado que es necesario que aún en tiempo de lluvia la potencia que llegue al satélite sea constante, se han desarrollado técnicas que permitan esto. Las más usuales son:

- * Diversidad de emplazamiento.
- * Control de potencia de emisión en el enlace ascendente.

La primera consiste en la instalación de estaciones redundantes separadas por lo menos 10 kms. para que la probabilidad de que una lluvia intensa afecte a ambas sea prácticamente nula; ambas estaciones se conectarían a un centro de control donde se seleccionaría automáticamente la estación menos afectada. Esta técnica no es aconsejable para un sistema celular vía-satélite dado que la redundancia elevaría la complejidad y los costos del mismo a niveles prohibitivos.

El control de potencia en el enlace ascendente se efectúa apoyándose en el cálculo de la atenuación causada por la lluvia en el enlace descendente, de manera que la potencia del transmisor de la estación terrena se aumenta en idéntica cantidad a través de una señal de control que es proporcional a la atenuación calculada.

Para el caso del radioenlace terrestre, la atenuación por lluvia u otro tipo de precipitación no es significativa abajo de los 10 GHz. La causa de esta atenuación se debe tanto a la absorción como a la dispersión de la energía de la microonda. La atenuación por absorción se da predominantemente en nubes y niebla; mientras que la atenuación debida a dispersión se da en lluvia. El peor caso de atenuación por nubes o niebla es aproximadamente 1/10 de la atenuación por lluvia correspondiente. Por otra parte, una fuerte tormenta, aunque breve, puede causar mayores cortes de la señal que una lluvia ligera de semanas de duración.

III.2) TÉCNICAS DE MODULACION

F M y A M

La frecuencia modulada (FM) ha sido la técnica de modulación preferida en el área de comunicaciones móviles, donde el llamado desvanecimiento de Raleigh altera de manera importante el desempeño de la relación señal a ruido (SNR) <3>. Este rápido desvanecimiento, debido al movimiento del abonado a través de señales de interferencia, origina en la señal una modulación en amplitud no deseada, que para transmisiones de señales en A M resulta muy perjudicial <4>. La utilización de F M suprime este efecto nocivo.

Una cualidad técnica de la F M que representa una gran ventaja en un sistema celular es el llamado efecto de captura <5>. Esto significa que si la fuerza de la señal deseada es mayor que la de una señal de interferencia por un monto igual o mayor al de la relación de captura del receptor, la señal deseada se amarrará al receptor y la señal de interferencia será suprimida. De hecho, el efecto de captura ocurre en cualquier técnica de modulación en la que la banda transmitida sea mayor que la banda del mensaje, siendo directamente proporcional a la relación entre ambas. Además, si no consideramos el desvanecimiento, el efecto de captura del receptor de F M puede suprimir la interferencia co-canal.

Por otra parte, una de las características más relevantes de esta técnica es que la SNR de la salida de audio (banda base) puede ser mejorada manejando potencia fija de transmisión e

incrementando la desviación de frecuencias de la modulación y consecuentemente el ancho de banda de frecuencia intermedia. Sin embargo, esto último ocasiona que el nivel de potencia de recepción disminuya y se acerque al umbral establecido y, en caso de resultar inferior a éste, se perdería esa SNR mejorada; por lo tanto, se establece un compromiso entre el índice de modulación y el nivel de potencia de transmisión.

Finalmente, otra gran ventaja de la FM en banda angosta es que su tecnología está muy bien entendida y desarrollada.

Para el caso de la amplitud modulada (A M), aún en la situación de no presentarse el desvanecimiento, el desempeño de la SNR podría no ser tan bueno como en FM; sin embargo, si despreciamos la interferencia co-canal, A M presenta una ventaja respecto a FM en lo referente al ancho de banda utilizado, lo cual es muy importante en la tecnología celular. Dado que el ancho de banda ocupado por cada canal en un sistema de banda angosta es un factor importante para determinar la eficiencia espectral, es razonable considerar una técnica de modulación que no requiera tanto ancho de banda como la FM. Tal técnica es la A M de banda lateral única. Sin embargo, en este caso, el problema del desvanecimiento es muy severo y no se presenta el efecto de captura para suprimir la interferencia co-canal.

MODULACION DIGITAL <6>

Dado que la transmisión de datos a través de unidades móviles está cobrando importancia creciente en los países desarrollados, es digno de considerar esta cualidad en el diseño de un sistema. Para esto se presentan, en banda angosta, 2 posibilidades:

La primera posibilidad se refiere a la modulación en banda base de señales digitales a fin de ser transmitidas en un sistema ya existente dedicado a la transmisión analógica. Esto se logra utilizando el mismo tipo de modem diseñado para transmitir datos en una red telefónica a través del esquema típico de pares de tonos.

La segunda posibilidad es la verdadera modulación digital, generalmente modulación bifásica codificada en donde el corrimiento de la fase dentro de una portadora de frecuencia constante conlleva la información. En este caso, la tasa de transmisión es considerada como parámetro de diseño, en lugar de ser impuesta por las limitaciones de un sistema ya existente.

En todos los casos de transmisión digital sobre canales de banda angosta prevalece el mismo problema: Dado que las componentes espectrales de la señal se desvanecen simultáneamente, se presentan atenuaciones profundas que hacen perder varios símbolos o datos.

ESPECTRO AMPLIO <7>

La técnica de espectro amplio es una alternativa a los esquemas de banda angosta que ha sido utilizada primordialmente en comunicaciones militares. La información en banda base modula a una portadora cuyo espectro ocupa todo el ancho de banda asignado al sistema, de ahí el término de espectro amplio; la diferenciación entre usuarios se hace a través de códigos, no siendo requerida sincronización alguna entre ellos.

Aún cuando parece extraño sugerir esta técnica para mejorar la eficiencia espectral en un ambiente donde el problema básico es el limitado espectro disponible, su utilización permite contemplar algunas propiedades inusuales que la hacen atractiva bajo ciertas circunstancias. Para que un sistema de comunicación digital opere con una determinada probabilidad de error se necesita que:

$$\frac{E_b}{N_0} > p \quad (\text{umbral preestablecido})$$

donde:

E_b energía por bit

N_0 densidad espectral de ruido

Las potencias de recepción y de interferencia están dadas por:

$$P_R = E_b R \quad ; \quad P_I = N_0 B$$

donde R y B son la tasa de transmisión de la señal y el ancho de banda del canal de espectro amplio respectivamente, por lo tanto; la relación señal a interferencia será:

$$SIR = \frac{P_R}{P_I} = \frac{E_b R}{N_0 B} = \left[\frac{E_b}{N_0} \right] \left[\frac{R}{B} \right]$$

Por consiguiente, como B es mucho mayor que R, para un receptor de espectro amplio es posible operar con niveles de SIR muy inferiores a la unidad sin caer por debajo del umbral preestablecido. Más aún, se puede tener un gran número de interferencias en la misma banda sin perjudicar el funcionamiento del receptor con el nivel de desempeño requerido. Sin embargo, esta capacidad depende de que las potencias recibidas de los diferentes canales sean tan iguales como sea posible debido a que las transmisiones de unidades cercanas a la base borran aquéllas pertenecientes a unidades más alejadas en lo que se conoce como el efecto "cerca-lejos". Esto implica la implementación adicional de un esquema de control de potencia. Sin embargo, la utilización del espectro amplio reduce los problemas de desvanecimiento experimentados en los sistemas de banda angosta y presenta un fuerte atractivo en el desempeño de la eficiencia espectral (Tablas 3.1 y 3.2): en los sistemas de espectro amplio se tiene en general un desvanecimiento de la señal de transmisión de entre 2 y 3 dB, comparado con los 20 ó 30 dB en los sistemas de banda angosta.

I. Narrowband spectral efficiency

Cluster size	Advanced Mobile Phone System	Linear-predictive coding	Single-sideband
4	6.7	40	67
7	3.8	23	38
12	2.2	13	27
19	1.4	8.4	14
27	1.0	6.0	10
48	.56	3.4	5.6

II. Spread-spectrum spectral efficiency

System	Data rate			Base-station antenna
	30 kbps	10 kbps	2.4 kbps	
Differential phase shift keying	1.7	5	21	Omnidirectional
Multiple-frequency shift keying	5	15	63	
TDMA	11	33	138	
DPSK	5	15	63	Three 120° sectors
MFSK	15	45	186	
TDMA	33	99	412	
DPSK	10	30	126	Six 60° sectors
MFSK	30	90	392	
TDMA	66	198	824	

Tablas 3.1 y 3.2

Dentro de esta técnica de amplio espectro se presentan varias posibilidades de transmisión; de entre ellas, las mayormente consideradas son:

Pseudoruido.

En este caso, la portadora expandida es sólo una señal de radiofrecuencia modulada con una secuencia periódica no aleatoria de +1's y -1's generada por un registro de corrimiento con realimentación. La velocidad del reloj del registro es muy alta comparada con la tasa de transmisión del mensaje y generalmente un periodo de la secuencia del registro (el cual puede contener miles de transiciones) es modulado con un bit del mensaje.

El receptor tiene un registro idéntico al del transmisor y las transmisiones de otras unidades con diferente secuencia son consideradas como ruido. La ventaja más importante es la fácil implementación de la técnica en circuitería digital; sin embargo, se presenta gran sensibilidad al efecto cerca-lejos bajo este esquema.

Salto de Frecuencia.

La técnica consiste en utilizar una portadora de radiofrecuencia cuya frecuencia salta de un punto a otro en el espectro de acuerdo a un patrón determinado previamente y que representa el código del transmisor; en el receptor se tiene un patrón igual al del transmisor a fin de bajar la señal a banda base.

En este caso, el efecto cerca-lejos es un problema menor, lo cual hace de esta técnica una elección más natural para sistemas de radio móvil con grandes áreas por cubrir. La modulación de banda base puede hacerse de cualquier manera: PSK y FSK son los métodos más usados, aún cuando pueden utilizarse métodos de modulación analógica.

En un sistema de espectro amplio todos los usuarios ocupan la misma banda e interfieren entre sí en forma controlada. De esto se desprende que no hay necesidad básica para dividir el espectro disponible y asignar diferentes partes del mismo a diferentes células para controlar la interferencia.

En un sistema celular de este tipo, todas las células y todos los abonados en ellas usan todo el espectro disponible y los receptores usan códigos o secuencias propios para reconocer y demodular la señal deseada que se haya inmersa en interferencia. Sin embargo, las células son necesarias a fin de reducir la distancia entre unidades móviles; además, es necesaria cierta división del espectro para evitar que la banda de comunicación base a móvil se traslape con la de móvil a base.

Se sabe que en un sistema de este tipo, cerca de la mitad de la interferencia proviene de los abonados en la misma célula, y la otra mitad proviene del resto del sistema; la eficiencia espectral (número de usuarios por MHz) por célula de un sistema de espectro amplio es aproximadamente la mitad de la relativa a un sistema de banda angosta que hipotéticamente utilizara todo el ancho de banda en cada una de sus células.

Finalmente, la técnica de espectro amplio presenta desventajas importantes:

En primer lugar, los costos iniciales para tal sistema son probablemente mucho mayores que los correspondientes a un esquema de banda angosta. Esto se debe más que nada a que el diseño de la estación base debe arrancar con un sistema maduro, en lugar de ir creciendo con la demanda.

Se tienen formidables problemas no solucionados en la aún no madura tecnología; los diseños de los transreceptores resultarían mucho más complejos que los correspondientes a sistemas de banda angosta.

Por otra parte, el efecto cerca-lejos obligará a incorporar un control de potencia en los transreceptores móviles, lo cual implica un incremento en el costo total del sistema.

Por último, no se han tomado, ni en los países desarrollados, previsiones de tipo regulatorio para transmisiones en espectro amplio en el sector de las comunicaciones civiles.

III.3) TECNICAS DE DIVERSIDAD

Es posible reducir el efecto del desvanecimiento en sistemas de banda angosta de varias maneras: la más común es la diversidad espacial <8>. En este caso, la señal en banda base es recuperada a partir de 2 ó más juegos de antenas que se encuentran separadas a un mínimo de un cuarto de longitud de onda de manera que la probabilidad de que 2 de ellas encuentren desvanecimientos profundos de manera simultánea es muy pequeña. El receptor conmuta de una a otra antena dependiendo de las potencias recibidas o combina ambas señales antes o después de la demodulación.

Por otro lado, el esquema de diversidad espacial limita su operación exclusivamente a equipo fijo o móvil montado en vehículos, imposibilitando totalmente el uso de unidades portátiles. Sin embargo, el empleo de otras técnicas de diversidad posibilita la operación del sistema con relaciones portadora a ruido y portadora a interferencia menores, lo cual permite la utilización de unidades portátiles y un mejor reuso geográfico de canales en alta densidad <9> (Fig. 3.1). De entre estas técnicas, las más conocidas son la diversidad en frecuencia y en tiempo <10>.

La diversidad en frecuencia consiste en transmitir la información en dos señales de frecuencia diferente, lo suficientemente separadas para que presenten independencia a la atenuación y no puedan interactuar entre sí. Evidentemente, en el caso de sistemas celulares maduros, esta técnica es difícilmente aceptable debido al incremento del espectro utilizado.

La diversidad en tiempo involucra la repetición de mensajes con una separación suficiente para permitir también independencia a la atenuación y la interacción entre los mismos mensajes. El tiempo de separación resulta ser inversamente proporcional a la velocidad de la unidad móvil, por lo que esta técnica no es recomendable para el caso de abonados fijos.

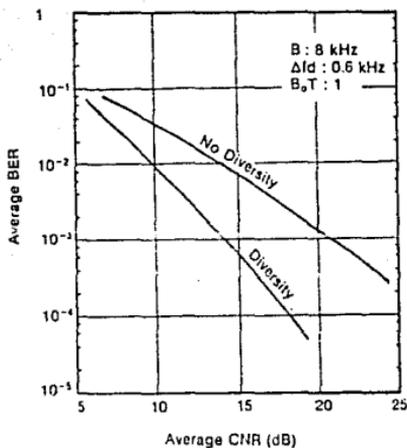
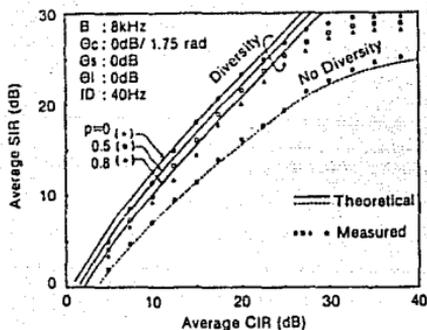


Figura 3.1

III.4) R U I D O

El ruido es el principal elemento perjudicial a las comunicaciones, por lo que su tratamiento es de primordial importancia. El comportamiento de los sistemas de comunicación móvil está normalmente limitado por el ruido eléctrico presente en el entorno en el que opera el receptor. El ruido puede ser clasificado de la siguiente manera: <11>

Ruido ambiental

Este es debido a la electricidad estática causada por los relámpagos y otros disturbios eléctricos naturales. Los niveles estáticos se observan más en el día que en la noche y sus efectos son más considerables en zonas tropicales <12>. Este tipo de ruido sólo afecta a aquellos sistemas que operan en frecuencias por debajo de 3 MHz.

Ruido térmico

Se debe a elementos sensibles a la temperatura o que disipan calor. Este tipo de ruido se origina comunmente en la electrónica de los equipos o en líneas de transmisión.

Ruido artificial

Es el causado por el hombre y extrínseco al sistema; por ejemplo, el ruido de fábricas, lámparas, vehículos, motores eléctricos, ruido de ignición, etc. Este tipo de ruido no es de consideración en áreas rurales. Sin embargo, en las áreas urbanas, el ruido artificial afecta a los sistemas móviles que operan en el rango de frecuencias entre 3 MHz y 1 GHz.

El tratamiento que se da a este tipo de ruido se basa en la clasificación del Área de medida y en la actividad local industrial o comercial; las medidas del ruido artificial dependen mucho del momento en que se hacen y de como se define el tipo de Área.

Desde el punto de vista de la frecuencia podemos hacer un breve análisis del ruido (Fig. 3.2). El ruido artificial es significativo a frecuencias menores de 400 MHz. El ruido cósmico, que puede clasificarse dentro del ruido ambiental, se reduce grandemente a frecuencias menores de 30 MHz. Por otra parte, la estática atmosférica se presenta a frecuencias menores de 20 MHz por lo que no representa gran problema para los estándares celulares actuales.

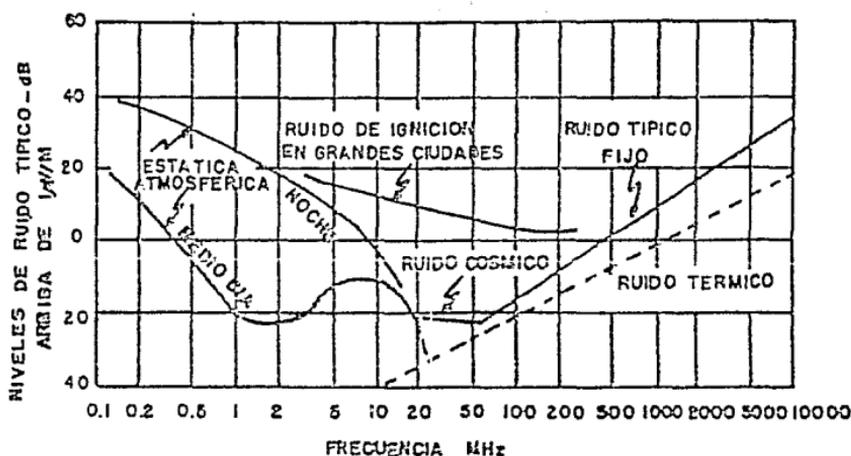


Figura 3.2

La consideración del ruido en comparación con las señales transmitidas o recibidas en un sistema deriva en parámetros de diseño que pueden determinar características importantes del mismo; por ejemplo, la reducción de la relación portadora a ruido (CNR) requerida en un sistema puede permitir la incorporación de unidades portátiles al mismo; la reducción de la relación señal a ruido (SNR) requerida en un sistema podría reducir costos a nivel del equipo de transmisión en las bases celulares.

Por otro lado, se presentan fenómenos que modifican el comportamiento del ruido en un sistema. En el caso de las comunicaciones móviles, el desvanecimiento de Raleigh ocasiona la pérdida del efecto captura, originando una rápida y aleatoria supresión de la señal la cual se manifiesta como una componente adicional de ruido en la salida de banda base.

Aún cuando las propiedades estadísticas de las varias componentes de ruido que aparecen en banda base, en presencia del desvanecimiento de Raleigh, son diferentes, exámenes específicos indican que la relación señal promedio de salida a ruido promedio es una medida aproximada de la calidad del canal de radio para comunicaciones de voz. <13>

III.5) INTERFERENCIA ENTRE CANALES

Como se ha explicado anteriormente, la implantación de un sistema celular implica la división del área de cobertura en células, cada una de ellas operando con un número determinado de canales asignados, permitiéndose el reuso de estas frecuencias en células suficientemente alejadas. Este esquema permite, en teoría, satisfacer a un número ilimitado de usuarios.

Sin embargo, en la realidad se presenta un límite al tamaño de las células ya que, entre otras razones, las fronteras de éstas no están de ninguna manera bien delimitadas, lo cual implica un traslape en las fronteras de las zonas de cobertura de cada una de ellas debido sobre todo a condiciones de propagación del terreno <14>. Lo anterior coloca al concepto celular en una situación única: es el primer sistema de comunicaciones móviles que genera su propia interferencia <15>.

En general, se presentan 2 tipos de interferencia en un sistema celular:

INTERFERENCIA COCANAL

Un objetivo primordial en los sistemas celulares es lograr el uso eficiente del espectro asignado a través del reuso de canales en zonas localizadas tan cerca una de otra como sea posible.

El factor que limita este reuso de canales es la interferencia cocanal, que consiste en la intrusión de una señal no deseada en un canal determinado dentro de una célula, y que procede de otra célula que está utilizando, o mejor dicho reutilizando, el mismo canal. Esto se debe al traslape anteriormente citado que se da entre las células y que afecta además a la eficiencia espectral del sistema.

Por lo tanto, el logro de un reuso de frecuencias de máxima densidad es estrictamente un problema de minimización de dicha interferencia cocanal del sistema.

En ausencia de desvanecimiento, la relación señal a interferencia mejora en forma cúbica respecto del índice de modulación (F M). Sin embargo, esta ventaja se pierde ante la presencia del desvanecimiento de Raleigh; ya que en este caso, la interferencia cocanal se mantiene aproximadamente constante respecto al índice. Lo anterior representa el efecto más importante de dicho desvanecimiento en relación al comportamiento de la interferencia cocanal.

Existen varias técnicas para minimizar la interferencia cocanal en un sistema celular, a saber:

- Adaptación mutua de la potencia de transmisión entre base celular y unidad móvil; esta técnica mantiene el nivel de recepción a un mínimo necesario y por ende, el nivel de interferencia se reduce considerablemente.

- Asignación dinámica de canales en base a criterios de calidad de la señal: ya sea en un enlace establecido previamente o durante el establecimiento del mismo. Estos criterios se establecen a través de la manipulación de los umbrales de potencia de acceso al canal. <16>
- Evolución a un "sistema maduro" a través del empleo de antenas direccionales que cubran zonas de diferentes células utilizando, por lo tanto, diferentes conjuntos de canales y niveles de potencias para cada una de ellas. Esta técnica reduce la interferencia co-canal considerablemente <17>; esta reducción se debe a lo siguiente: <18>

Debido a la direccionalidad de las antenas de transmisión, un móvil localizado en el centro de la "célula objetivo" está sujeto a la interferencia producida por una sola célula, que es la que está directamente detrás de él.

Las señales que llegan a un abonado procedentes tanto del transmisor deseado como del interferente, están sujetas a variaciones aleatorias log-normalmente distribuidas. Este desvanecimiento lento, producido por los obstáculos en el trayecto entre transmisor y receptor, determina la confiabilidad de que se pueda obtener un cierto nivel de protección contra la interferencia en un sistema.

El empleo de antenas direccionales provee una transferencia de llamadas confiable hacia la célula correcta. Esto se debe a que, como el sector donde se encuentra el abonado es

identificable, la transferencia en la dirección adecuada se limita a no más de 3 células candidatas: en el caso de células omnidireccionales, y debido al fenómeno del desvanecimiento lento, hay probabilidad de que la transferencia se haga a una de las 3 células adyacentes a la célula correcta, resultando que después de la transferencia se tenga un desempeño aún más pobre del canal de transmisión.

INTERFERENCIA DE CANAL ADYACENTE

Este tipo de interferencia se da cuando una unidad receptora y otra que transmite en un canal adyacente se encuentran físicamente cerca. En este caso, la selectividad del receptor debe ser extremadamente buena para evitar la interferencia de la fuerte señal del transmisor.

Para el caso de las comunicaciones móviles, en el que se presenta el desvanecimiento de Rayleigh, los buenos resultados que en contra de la interferencia de canal adyacente pudiera tener la selectividad del receptor, se pierden debido a que el desvanecimiento, tanto de la señal deseada como de la señal adyacente, pueden llegar a presentarse simultáneamente e interactuar entre sí en un intervalo de tiempo dado. En un sistema de comunicación con abonados fijos, este tipo de interferencia puede ser minimizada por medio de una coordinación cuidadosa entre las asignaciones de frecuencias y la localización física; esta táctica no funciona en un esquema que no es celular y donde las frecuencias son usadas en toda el área de cobertura por igual.

III.6) CRECIMIENTO

El crecimiento, como respuesta al rápido y constante incremento de la demanda que ha caracterizado a los sistemas celulares, reviste particular importancia en la administración de los mismos. Es esta capacidad para absorber nuevos abonados y ampliar el área de cobertura, sin demeritar en la calidad del servicio, lo que ha contribuido mayormente al éxito de esta tecnología y particularmente a su abaratamiento debido a la reducción de costos lograda a través de mayores volúmenes de producción.

Las técnicas que se han desarrollado para hacer frente al crecimiento del sistema sobresalen por la sofisticación que implican y han sido llevadas a la práctica gracias primordialmente al desarrollo de la tecnología de conmutación digital.

El crecimiento de un sistema celular sigue dos vertientes básicas: el incremento de la capacidad del sistema como respuesta a la creciente demanda; y el crecimiento del área de cobertura.

En el primer caso, la saturación de los sistemas ha propiciado el desarrollo de una serie de técnicas o conceptos que permiten aumentar considerablemente la capacidad de respuesta a la demanda, a saber:

- El concepto de "células vecinas" <19> agrupa cuatro o cinco células de manera que las llamadas, normalmente manejadas por una célula muy ocupada, son transferidas automáticamente a una célula predeterminada que supuestamente se encuentra menos ocupada; si ocurre que también esta célula está saturada, la llamada es dirigida a una tercera o cuarta célula. Este concepto es utilizado para acomodar el tráfico en áreas de uso pesado y en periodos pico. Esta técnica involucra la manipulación de los umbrales para transferencia de llamadas (hand-off).

- Células traslapadas (underlay-overlay) <20>.

Esta técnica fue patentada por los laboratorios Bell y puede incrementar la eficiencia de las células entre 30 y 50 %. Es además un paso preliminar a la división de células. Este método inserta una célula pequeña dentro de otra mayor. La teoría es que, asignando ciertos canales a la célula mayor y otros a la menor, los canales de ésta última pueden ser duplicados en una posterior división celular sin producir interferencia. El traslapamiento de células en sí alivia de forma inmediata cierto congestionamiento, antes de proceder a la división celular.

- División de células.

La división celular consigue que el sistema se ajuste a un crecimiento espacial de la demanda de tráfico (llamadas simultáneas por Km. cuadrado) sin ningún incremento del espectro. El primer paso en la planeación de una división

celular es determinar los patrones de tráfico en la célula a fin de establecer la orientación que ha de darse a la partición, buscando atacar la parte más congestionada de dicha célula <21>. El resultado es la aparición de células secundarias reducidas en diámetro y en potencia de transmisión; evidentemente, este procedimiento implica un reacondo de los canales asignados. Se pueden hacer sucesivas divisiones, obteniendo células terciarias y cuaternarias; sin embargo, se sabe que no conviene que el tamaño de las células se reduzca por abajo de 3 kms. de diámetro ya que la frecuencia de las transferencias (hand-off) resultaría muy alta.

Además, el costo de construcción de bases celulares adicionales, aún cuando sean de menor potencia, impone también un límite a la división celular. Sin embargo, existen métodos para reducir el tamaño de las células que no implican la construcción de bases celulares, uno de ellos es el ya mencionado uso de antenas direccionales que, por otra parte, facilita la solución de la subsecuente división celular <22>.

Al irse dando la etapa de división celular en un sistema maduro, se va obteniendo un patrón de células de diferente tamaño, dependiendo de la zona que se trate. La vecindad de células de diferente tamaño origina nuevos problemas de interferencia que deben ser considerados y que también representan un límite al procedimiento.

Finalmente, el proceso de división celular origina, entre otros, los siguientes hechos:

- * incrementa la capacidad de tráfico.
- * exige mayor precisión en la selección de la ubicación de las estaciones base.
- * aumenta la posibilidad de tránsito entre células durante una comunicación.
- * requiere mayor capacidad de proceso de la central de comunicaciones.

Células sectoriales.

La evolución de un sistema a células sectoriales es una consecuencia inmediata del empleo de antenas direccionales. Para proveer cualquier nivel de protección contra interferencia cocanal, la distribución sectorial utiliza un menor número de células en el patrón en comparación al esquema omnidireccional, ya que la relación señal a interferencia es inversamente proporcional a la razón de dos distancias: la distancia del móvil a la base interfiriente y la distancia del mismo a la base deseada (Fig. 3.3). Las consecuencias de esto son una capacidad de tráfico aumentada debido a la posibilidad de tener una mayor porción del conjunto total de canales dentro de una célula, y un mayor potencial de reuso de frecuencias sobre el área total de servicio <23>.

Otra gran cualidad del esquema de células sectoriales es el concepto de "compartición de sectores", que permite incrementar aún más la distancia entre móvil y base interfiriente, permitiendo el movimiento del abonado a sectores adyacentes bajo condiciones controladas y reteniendo el uso de las frecuencias del sector original. Esta técnica evita mucho de la pérdida de eficiencia troncal asociada normalmente a la división del conjunto total de canales entre un mayor número de subconjuntos.

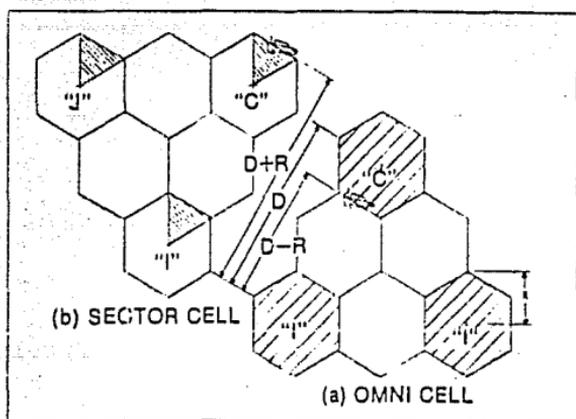


Figura 3.3

- Intercalamiento de canales.

Esta técnica consiste en la canalización del espectro disponible con menores espaciamientos entre canales, lo cual permite una menor protección nominal de canal adyacente en comparación con los sistemas celulares convencionales sin reducir la desviación nominal y el ancho de banda.

Este concepto es empleado para desarrollar el doble de canales en una localidad determinada sin perder la calidad de los parámetros nominales, particularmente aquéllos relacionados con una mayor desviación y una mayor tasa de transmisión de datos. La técnica es aplicable a sistemas celulares debido al control sobre canales adyacentes y al uso de la transferencia de llamadas. Asimismo, ésta es una técnica muy natural al concepto celular porque balancea el desempeño de la interferencia cocanal y la de canal adyacente <24>.

- Sistemas paralelos.

Este concepto es la última opción que se puede considerar para hacer frente a la demanda de servicio en una área determinada. Se trata de sobreponer un nuevo sistema celular al ya existente, con todas las implicaciones que esto representa. La separación entre las bandas de ambos sistemas es generalmente considerable, lo cual supone aplicaciones diferentes de uno y otro sistema, la banda de frecuencias mayores se orientará a comunicaciones en zonas urbanas o muy congestionadas, mientras que la banda de frecuencias menores se utilizará en zonas rurales o suburbanas.

ESTA COPIA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En la práctica, sólo se ha llegado a la aplicación de este concepto en el sistema celular escandinavo (NMT).

Finalmente, aún cuando la forma irregular de las células puede ser aceptable en la configuración inicial de un sistema, en la práctica, la ausencia de una estructura geométrica en el diagrama celular conseguirá que la adaptación al crecimiento del tráfico sea más problemática de lo necesario, lo que dará lugar a un ineficiente uso del espectro y a un desaprovechamiento de los equipos.

III.7) ANTENAS

Las antenas y las pérdidas por propagación son elementos muy importantes en los sistemas celulares dado que la comunicación depende tanto de la ganancia de la antena y su localización, como de los obstáculos naturales y/o artificiales involucrados. En cualquier tipo de sistema de comunicación por radio, se debe comenzar con antenas y cableado de alta calidad ya que las señales deben ser transmitidas y recibidas adecuadamente, o de otra manera, no serán captadas por el equipo transreceptor, independientemente de la calidad de éste <25>.

Como se ha mencionado anteriormente, la tecnología celular utiliza, en sus equipos transreceptores, antenas tanto omnidireccionales como direccionales.

En un sistema celular de pequeñas dimensiones o en etapa inicial, las antenas utilizadas son, en general, de alta ganancia, polarización vertical y omnidireccionales; esta última característica se debe a que se permite un menor número de células requeridas para cubrir el área asignada, con consecuente reducción de costos; además, este esquema presenta mayores eficiencias troncales por célula. Sin embargo, ante el crecimiento de la demanda y la necesaria partición de las células congestionadas, el cambio a las antenas direccionales es obligado. Por otro lado, éstas presentan otro tipo de ventajas muy atractivas, como son: una mejor cobertura de la célula, reducción de la interferencia co canal, mayor flexibilidad en la asignación de canales, etc.

En los sistemas celulares se utilizan antenas direccionales de 120 y 60 grados debido básicamente al perfil exagonal con el que se define a las células.

En general, los diferentes sectores que cubre una antena direccional trabajan con potencias diferentes a fin de evitar interferencias y de tener la posibilidad de atender células de diferente tamaño. Además, es necesario también ajustar los umbrales de acceso y de transferencia de llamadas con el mismo propósito.

El uso de antenas direccionales, también llamadas sectoriales, presenta varias ventajas adicionales. Es posible montar dichas antenas en los lados de las torres de soporte, en lugar de la punta; dado que con estas antenas no se presenta radiación hacia la estructura de la torre, se suprime la posible distorsión del patrón de radiación debido a la estructura de soporte. Además, esto permite una mayor flexibilidad en la elección de los asentamientos para las bases celulares. Otra ventaja considerable es la supresión de la interferencia originada en dichos asentamientos debido a señales espurias procedentes de equipo ajeno al sistema.

III.8) ENLACE SATELITAL.

El desempeño de un enlace de comunicaciones via satélite puede ser convenientemente considerado en 2 partes. La primera parte, llamada comúnmente enlace de radiofrecuencia, está relacionada con el cálculo de una relación portadora a densidad espectral de ruido (C/N_0), donde la densidad espectral de ruido es la potencia de ruido normalizada a 1 Hz del ancho de banda; la segunda parte tiene que ver con el cálculo del desempeño del canal y el número disponible de canales como función de la relación portadora a densidad de ruido; los resultados de esta segunda parte dependen de la modulación y los sistemas de acceso múltiple empleados.

El desempeño del enlace de radiofrecuencia es determinado por las características del equipo, las características del medio de propagación y la posible interferencia. Por otro lado, la consideración del ruido es básica para el desempeño de dicho enlace; éste puede ser generado por elementos electrónicos, recibido del espacio exterior, o ser simplemente el ruido térmico debido al movimiento aleatorio de electrones.

Finalmente, el desempeño total de toda la conexión depende de lo que pase en los enlaces ascendente y descendente, los efectos no lineales en el repetidor (Transponder) y la interferencia. Los efectos no lineales en el amplificador de alta potencia generan productos de intermodulación que son considerados como ruido. Como una buena aproximación, este ruido puede ser considerado como aditivo, sobre una base exponencial, al ruido térmico.

III.9) EQUIPO

Como consecuencia de la sofisticación que el concepto celular implica, el equipo utilizado en un sistema de este tipo presenta niveles de desempeño superiores a cualquier otro equipo parecido. Aún cuando los esquemas de tratamiento de la señal son semejantes a los sistemas convencionales, se presentan en el equipo celular exigencias mayores en aspectos como la selectividad de los filtros, la estabilidad de los generadores de portadora, los niveles de potencia de transmisión, la respuesta en la conmutación, el desempeño contra el ruido y la interferencia, los parámetros relacionados con la diversidad, etc.: además, se presenta un alto nivel de complejidad en el software de comunicaciones que se emplea en estos sistemas y que incluye funciones de señalización, detección de interferencia, transferencia de llamadas, monitoreo de canales, enrutamiento de llamadas, cobranza, etc.

Por otra parte, el equipo debe ser sumamente flexible, tanto en aspectos de software como de hardware, a fin de tener contemplada la incorporación de nuevas técnicas que incrementen la capacidad del sistema y permitan hacer frente a la saturación y al obligado crecimiento del mismo.

En lo referente al equipo del suscriptor, se tienen en consideración varias opciones para dar servicio a abonados fijos. Un radioteléfono portátil puede ser utilizado para dar servicio

telefónico en una locación fija, con la facilidad adicional de poder ser transportado y utilizado como unidad móvil; por otra parte, un abonado fijo también puede ser atendido si se modifica un equipo de unidad móvil, evitando así el uso de pares telefónicos. Unidades de suscriptores fijos han sido usadas con éxito en los llamados "sistemas telefónicos móviles mejorados (IMTS, por sus siglas en inglés)" y en sistemas de radiocomunicación rural en los países desarrollados.

El advenimiento de la tecnología celular provee una oportunidad única para ofrecer servicio telefónico no-cableado, tanto a abonados móviles como a fijos, en los mercados rurales <26>.

CAPITULO IV
DISEÑO DE REDES CELULARES

En este capítulo se establece una metodología de diseño de redes celulares adoptando técnicas y conceptos desarrollados con anterioridad para el medio urbano y que son trasladados al ámbito rural. Se analiza en forma separada tanto el enlace celular como el satelital de manera que se pueden reconocer grandes diferencias en el tratamiento de ambos enlaces. Finalmente, se hacen consideraciones sobre facilidades adicionales e infraestructura.

IV.1) DEFINICION DE ARQUITECTURA

En la implantación de un sistema celular, el conocimiento acertado de la distribución del tráfico esperado es de capital importancia ya que éste es determinante al considerar algunos parámetros iniciales de diseño; a saber:

- Grado de centralización.- Las características de la distribución de tráfico ayudarán a determinar la utilización de una o más oficinas de conmutación para telefonía móvil (OCTM) en la zona de cobertura dependiendo si en ésta se presentan una o más zonas de concentración de tráfico; de esta determinación deriva directamente el establecimiento de la jerarquía entre bases celulares y OCTM's. En la práctica es difícil encontrar en un inicio una zona de cobertura con más de un punto de concentración del tráfico esperado, por lo que la configuración inicial generalmente contempla una sola OCTM.

En zonas rurales, donde la distribución del tráfico puede considerarse como uniforme, el establecimiento de la OCTM deriva de la necesidad de una conexión con la red conmutada local, la cual generalmente se establece en un centro de población cercano. El tráfico de larga distancia conviene canalizarlo a través del enlace vía-satélite.

- Variación en el tamaño y direccionalidad de las células.-
 En general, se considera como un buen acercamiento a la realidad el utilizar células homogéneas en tamaño y omnidireccionales en su operación. lo cual supone una distribución uniforme de tráfico que es típico de las zonas rurales y suburbanas. Sin embargo, si se cuenta con un análisis confiable, se pueden establecer desde el inicio células más pequeñas en la zona de más denso tráfico (generalmente la zona céntrica del Área de servicio) que pueden operar incluso desde un inicio en forma direccional (Figura 4.1).

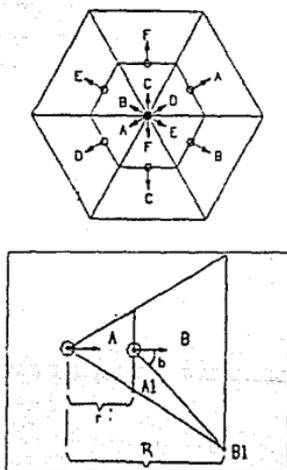


Figura 4.1

- Elección de las ubicaciones de las Bases Celulares. -

En la práctica, y sobre todo en las zonas urbanas, la consecución de espacio y ubicación conveniente para las bases celulares constituye uno de los principales problemas en el diseño e implantación de sistemas celulares. Dicha ubicación permite una tolerancia que se maneja como función del radio de la célula en cuestión y que afecta mucho más a la calidad de transmisión que al coste o a la capacidad del sistema.

Sin embargo, en las zonas rurales la consideración del tráfico no es tan relevante en cuanto a la determinación de dichas ubicaciones como lo son la geografía de la región y las condiciones de propagación imperantes en la misma.

IV.2) ENLACE CELULAR

IV.2.1) ASIGNACION DE BANDA DE FRECUENCIAS

Los servicios de comunicación móvil se contemplan en el campo de los sistemas de radiocomunicación que operan en el ámbito de las microondas. Estos servicios se han insertado generalmente en el rango que va de los 150 a los 1000 MHz.

En el caso concreto de la radiotelefonía, la aloccación de la banda de frecuencias a utilizar en un sistema, dentro del rango del espectro radioeléctrico asignado a las comunicaciones móviles, depende del tipo de zona en que se piensa instalar dicho sistema; es decir, si se trata de una zona rural donde generalmente el problema de atenuación y/o reflexión debida a obstáculos es menor y donde el tamaño de las células es considerable, se puede pensar en utilizar frecuencias inferiores dentro de este rango. De igual manera, la atención a una zona urbana donde las características de propagación, tráfico y capacidad varían sustancialmente nos llevaría a utilizar frecuencias mayores (Figura 4.2). Por otra parte, la anchura de esta banda de frecuencias (BW) depende del número de canales necesario para atender el servicio (m) así como del ancho de banda de cada uno de ellos (n) y de la separación entre canales adoptada (df):

$$B W = m (n + d f)$$

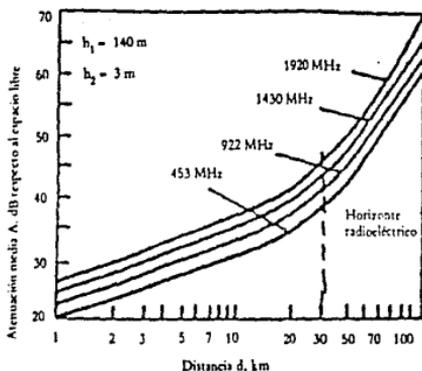


Figura 4.2

En la práctica es conveniente contemplar la adopción de alguno de los estándares ya establecidos a nivel mundial. Lo anterior, debido a que los sistemas que han llegado a ser considerados como estándares han probado ser eficientes y confiables, además de la conveniencia de colocarse en una posición de compatibilidad con una gran cantidad de sistemas ya instalados; lo anterior, entre otras cosas, conlleva un considerable ahorro en investigación y desarrollo de equipo.

IV.2.2) TAMAÑO DE LA CELULA

En la consideración de este parámetro de diseño intervienen criterios como la capacidad del sistema, la calidad de transmisión y el costo; son estos dos últimos los que involucran un compromiso en la determinación del máximo radio de la célula.

el cual se considera de gran importancia en el inicio de la implantación de un sistema celular. Por otro lado, este parámetro tiene poca incidencia o sólo un efecto indirecto en lograr una gran capacidad final. <1>

Por otra parte, un elemento importante a considerar es la potencia de transmisión la cual, en sistemas celulares, es considerada semejante tanto del lado de la unidad móvil como de la estación base. Otro factor importante es la elevación y ganancia de las antenas de las EB's. Una vez fijados los parámetros de potencia, elevación y ganancia de antenas, el tamaño máximo de la célula es verdaderamente un compromiso entre el costo y la calidad de transmisión.

En las zonas rurales, donde se presenta generalmente un tráfico reducido en una gran área de cobertura, la utilización del mayor tamaño posible de célula reviste una particular importancia; en este sentido, el incremento de la potencia de transmisión es una opción digna de considerar en estas zonas. Sin embargo, el incremento de la potencia puede suponer una reducción del costo del sistema siempre que el costo de dicho aumento quede compensado con un aumento en el tamaño de las células y, por consiguiente, una reducción en el número de las mismas.

Por otra parte, en la implantación de un sistema las frecuencias se reutilizan pocas veces e incluso, debido a la utilización de células grandes, el número necesario de las mismas para cubrir una determinada área no excede normalmente del número

de grupos de canales en que se divide el ancho de banda asignado al sistema; por ello, en el inicio, la calidad de transmisión vendrá limitada únicamente por el ruido.

En el extremo contrario, el mínimo tamaño de célula, al cual se llega por múltiples divisiones, es de vital importancia en la determinación de la capacidad final; este parámetro es de consideración en las áreas urbanas donde el tráfico tiende a ser elevado y creciente, no así en áreas rurales donde en general la división celular se puede considerar a mediano o largo plazos.

IV.2.3) DISTRIBUCION DE CANALES

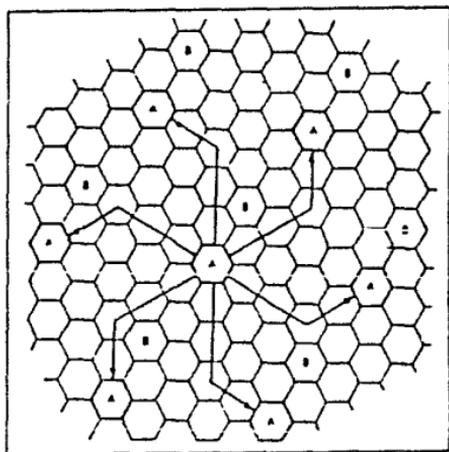
Parámetros de desplazamiento.

Suponiendo contar con un tráfico uniforme en el inicio del sistema, se introduce un método para determinar qué grupo de canales se asigna a cada célula. Este método utiliza dos enteros "i" y "j" ($i > j$) llamados "parámetros de desplazamiento". A partir de una célula cualquiera tomada como referencia, se puede considerar que de cada uno de sus lados emana una cadena de células pertenecientes al mismo arreglo; por lo tanto se tienen, para células hexagonales, seis cadenas que emanan de aquella tomada como referencia (Figura 4.3). La determinación de las células cocanal se hace desplazándose "i" células a través de cualquier cadena para girar 60 grados en contrasentido a las manecillas del reloj y desplazarse "j" células en ese sentido, repitiéndose el procedimiento a través de las seis cadenas mencionadas.

El número de células por patrón queda expresado en función de los parámetros de desplazamiento de la siguiente manera:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

El hecho de que i y j sean enteros implica que sólo son posibles ciertos valores de N para que el método sea perfectamente realizable. Sin embargo, en la práctica la elección del número de células por patrón o grupo queda fijado por consideraciones de interferencia cocanal; lo anterior ocurre en zonas urbanas donde el reuso de frecuencias es considerable. En las zonas rurales es de mayor peso la determinación del tamaño de la célula a fin de establecer el número de células por grupo. A medida que aumenta el tamaño de la célula se precisa un número menor de células para completar un grupo.



PARAMETROS DE DESPLAZAMIENTO $i=3, j=2$

Figura 4.3

Demanda de Canales.

Una vez puesto en servicio el sistema, la asignación concreta de frecuencias a cada EB contempla en primer lugar un análisis de la demanda de dichos canales. Para iniciar el estudio de la demanda de canales se emplean como datos de partida:

- la cobertura que, aunada a la definición del tamaño de las células, determina el número de EB's en operación.
- el tráfico y la capacidad, que determinan el número de canales que se necesita en cada una de las EB's.

A fin de establecer la demanda de canales en cada EB normalmente se utilizan los siguientes parámetros:

T [seg] = tiempo medio de la llamada

n = número de llamadas por abonado y por hora en el periodo pico.

con esto el tráfico por abonado se define por:

$$A \text{ [erlang]} = n T / 3600$$

Una vez que tenemos los datos del tráfico por abonado y el número total de abonados podemos conocer el tráfico total máximo esperado en el sistema. Con este dato, la distribución geográfica del mismo y el grado de servicio (que es la probabilidad de obtener un circuito cuando se desea efectuar una comunicación), se calcula el número de canales por célula mediante la distribución de Erlang B (ver Anexo).

Ya conocido el número de canales por célula es necesario realizar un análisis de interferencias en el que se considere cada EB respecto a todas las demás para ver donde se pueden reutilizar las frecuencias, es decir, encontrar la mínima distancia entre la EB considerada y la interfiriente. Lo anterior se debe realizar a través del cálculo de la relación señal a interferencia en el área de cobertura de la célula en estudio, para compararla después con un valor umbral previamente establecido como protección.

Relación de reutilización.

Finalmente, un parámetro importante en la determinación de la calidad de transmisión y la capacidad final del sistema es la relación de reutilización (D/R), que es el cociente de la distancia entre células cocanales y el radio de la célula de referencia.

Esta relación afecta a la relación señal a interferencia y a la vez influye en la determinación del número máximo de canales en cada célula. <2>

Por otra parte, debido a la división celular propia de sistemas maduros, se presentan áreas de transición entre células de diferente tamaño; esto es algo que crea problemas especiales en la asignación de frecuencias ya que las distancias de reutilización son diferentes para cada célula.

IV.2.4) CALCULO DE ENLACE

Características de la señal.

La señal recibida por una estación móvil se compone de dos tipos de señales superpuestas que se diferencian entre sí por el tipo de desvanecimiento que presentan, a saber:

Desvanecimientos rápidos: tienen lugar muy rápidamente, con una distancia entre picos de aproximadamente $1/2$ de la longitud de onda de la portadora y son debidos a la recepción de una señal compuesta por multitud de ondas reflejadas; éstas se originan por la presencia de elementos circundantes al móvil (edificios, casas, árboles, etc.) que actúan como reflectores. El resultado de esto es que la señal recibida se compone de una gran cantidad de ondas con diferentes amplitudes y fases las cuales pueden anularse por completo unas a otras. La señal resultante tendrá una envolvente que variará con el punto en que se mida y puede variar hasta 30 dB entre picos y valles. Diversas medidas y experimentos han demostrado que la longitud media del desvanecimiento a una determinada frecuencia y velocidad del vehículo es aproximadamente $1/3$ del periodo de la envolvente (Figura 4.4).

En las zonas abiertas, donde la onda directa es la predominante, este tipo de desvanecimientos es mucho menos importante que en las ciudades. La distribución de estos desvanecimientos respecto al voltaje de la señal es del tipo de Rayleigh; de ahí el nombre de desvanecimiento de Rayleigh con el que también se le conoce.

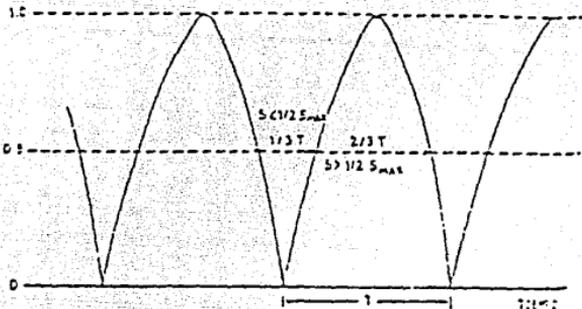


Figura II.4

- Desvanecimientos lentos: Se deben a variaciones ocasionadas por los obstáculos topográficos (montañas, colinas, vegetación, terreno inclinado, etc.) presentando una distribución del tipo logaritmico-normal, al menos dentro de un rango de unos pocos cientos de metros.

Predicción de la señal.

Existen diversos métodos para calcular el nivel medio de la intensidad de campo en un determinado punto o zona de interés; en general, todos ellos se basan en el cálculo de las pérdidas en la propagación, y pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Los que, diseñados para un caso concreto, dan los resultados en forma gráfica aplicando correcciones para el caso particular en que se esté trabajando.

- b) Los que manejan una fórmula empírica que contempla los diversos factores que influyen en la propagación.
- c) Los diseñados para el empleo de la computadora y que, por lo tanto, poseen un gran poder de cálculo matemático.

El emplear uno u otro método vendrá condicionado por numerosos factores, entre ellos: el tiempo de trabajo de que se disponga, el equipo con que se cuente, la exactitud requerida en el cálculo, el tipo de terreno en el que se implantará el sistema, etc.

De entre los métodos existentes, el de Okumura merece gran consideración por derivarse de un estudio amplio y profundo del comportamiento de la señal y por tomar en cuenta factores de corrección que han permitido generalizar su aplicación.

Este método se basa en medidas realizadas en Japón en servicios móviles en las bandas VHF (200 MHz) y UHF (453, 922, 1310, 1430 y 1920 MHz) en diversas condiciones de terreno y entornos de propagación. Mediante el análisis estadístico de estos datos se presentan curvas que dan la dependencia de la intensidad de campo medio según la distancia y la frecuencia, utilizando como parámetros la altura de las antenas y variables locales para los diversos tipos de entorno ambiental: urbano, suburbano y áreas abiertas en terreno casi-plano. Los factores de corrección mencionados consideran terreno inclinado, montañas aisladas, terreno ondulado y combinación de zona terrestre y marina. Con todo esto, el método pretende ser válido para predecir la intensidad de campo y el área de servicio de sistemas

móviles terrestres en el rango de frecuencias de 150 a 2000 MHz, para distancias de 1 a 1000 Kms y para alturas efectivas de la antena de la estación base comprendidas entre 30 y 1000 m. <3>

En referencia a los parámetros antes mencionados, se definen los siguientes:

- Altura efectiva de la antena de la estación base.-

El cálculo de este parámetro es necesario para obtener la intensidad de campo en cualquier terreno. Se define de la siguiente manera:

$$h_{ef} = h_t - h_p$$

donde :

h_t = altura de la antena de la estación base sobre el nivel del mar.

h_p = altura media del terreno sobre el nivel del mar en un rango de 3 a 15 Kms de distancia a la estación base.

- Grado de irregularidad del terreno (dh).-

Este parámetro considera las alturas de los obstáculos comprendidas entre el 10 y el 90 % de la diferencia entre

el valor máximo y el mínimo del conjunto, dentro de una distancia de 10 Kms. desde el receptor (Figura 4.5) y puede emplearse en los terrenos donde hay muchos pequeños obstáculos. Se considera terreno cuasi-plano cuando dh es aproximadamente 20 m.

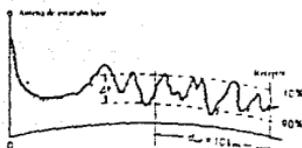


Figura 4.5

- Grado de inclinación del terreno.-

Este parámetro está dado por la tangente del ángulo de inclinación del terreno para distancias de al menos 5 a 10 Kms.

- Parámetro para trayecto mixto tierra-agua.-

Se ha definido este parámetro para trayectos que incluyen zonas con mar o lagos y se calcula como el porcentaje de la distancia del trayecto que está sobre zona acuática respecto de la distancia total del mismo.

Aunados a los anteriores, se consideran otros factores de corrección propios del ámbito urbano y de áreas suburbanas y rurales que serán incluidos si el caso particular de estudio lo amerita. De esta manera, el procedimiento de cálculo para hallar la intensidad de campo parte de la siguiente expresión:

$$E_m = E_D - A_m(f,d) + H_b(h_{ef},d) + H_r(h_{re},f)$$

donde:

E_m = intensidad media de campo para terreno cuasi-plano bajo las condiciones de transmisión dadas.

E_D = intensidad de campo supuesta la transmisión en espacio libre para las condiciones dadas.

$A_m(f,d)$ = atenuación media relativa al espacio libre [dB] en área urbana para los valores de 200 m de altura efectiva de la antena de EB y 3 m sobre el suelo de la antena del móvil y en función de la frecuencia y la distancia.

$H_b(h_{ef},d)$ = factor de corrección de ganancia de la antena de la EB [dB] relativo a una altura efectiva de 200 m y en función de la distancia.

$H_r(h_{re},f)$ = factor de corrección de ganancia de la antena móvil [dB] relativa a una altura efectiva de 3 m y en función de la frecuencia.

Para trazar las curvas de intensidad de campo sobre el área de servicio se dibuja en primer lugar el perfil del terreno a fin de obtener la altura efectiva de la antena de la EB y los

parámetros adecuados según los diversos tipos de terreno. Posteriormente se trazan las mencionadas curvas en forma concéntrica a partir de la ubicación de la EB y a intervalos de 5 dB para, finalmente, corregir estas curvas de acuerdo a las características del entorno y en función a los siguientes factores de corrección (consultar Anexo):

- por orientación de las calles en Área urbana
- por Área suburbana
- por Área abierta (rural)
- por terreno inclinado
- por trayectos mixtos tierra-agua
- para terreno montañoso
- para montes aislados

De entre los métodos empíricos, uno de los que presentan mayor rango de validez tanto en frecuencia como en distancia es el método de Hata. De hecho, este método deriva del de Okumura y permite, mediante una expresión empírica, que sus resultados sean más fácilmente aplicables, además de posibilitar el empleo de computadoras.

Este método es válido para:

frecuencia central (f_c) : 100 - 1500 MHz

distancia emisor - receptor (R) : 1 - 20 Kms

altura efectiva de la antena de EB (h_b) : 30 - 200 mts

altura de la antena móvil (h_m) : 1 - 10 mts

y considera:

- pérdida de propagación entre antenas isotrópicas.
- terreno moderadamente llano (cuasi-plano). no irregular

La expresión para las pérdidas en zona urbana es:

$$L = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b - a(h_m) + \\ + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R \quad \dots\dots[\text{dB}]$$

donde $a(h_m)$ es el factor de corrección para la altura de la antena del móvil:

para ciudad mediana y pequeña:

$$a(h_m) = (1.1 \log f_c - 0.7)(h_m) - (1.56 \log f_c - 0.8)$$

para ciudad grande:

$$a(h_m) = 8.29(\log 1.54 h_m)^2 - 1.1, \quad \text{si } f_c \leq 200 \text{ MHz}$$

$$a(h_m) = 3.2(\log 11.75 h_m)^2 - 4.97, \quad \text{si } f_c \leq 400 \text{ MHz}$$

Las correcciones para otro tipo de Área son:

- Área suburbana:

$$L_s = L (\text{Área urbana}) - 2 [\log(f_c/20)]^2 - 5.4 \quad [\text{dB}]$$

- Área abierta:

$$L_o = L (\text{Área urbana}) - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94 \\ \dots\dots\dots[\text{dB}]$$

Finalmente, la utilización de métodos de predicción por computadora supone la posibilidad de tratar el problema con mucho más detalle al poder incluir factores que no estaban considerados o que lo estaban de manera muy simple y permite la utilización de bases de datos topográficos. Además, un método de este tipo permite introducir otro tipo de factores que no entran en la predicción de la intensidad de campo pero que son importantes en el diseño global del sistema, tales como el cálculo de la interferencia cocanal, de la distancia de reutilización, de los niveles de ajuste del hand-off, etc.; asimismo, se pueden tratar otros problemas como distribuciones de tráfico y asignación de canales.

Algunos de estos métodos se orientan en mayor medida al cálculo más exacto de la intensidad de campo a través de un análisis del perfil del trayecto, la existencia de líneas de vista y la inclusión de correcciones debidas al terreno y/o la frecuencia (Figura 4.6).

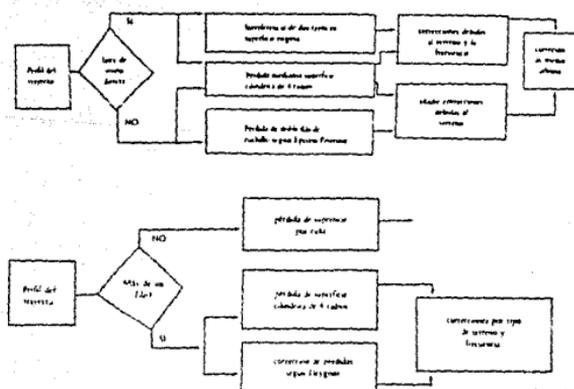


Figura 4.6

Otros incluyen consideraciones globales de diseño, para lo cual se necesitan datos del Área de servicio (densidad de tráfico, altura geográfica, morfología del terreno), parámetros del sistema (banda de frecuencia, número disponible de canales, SNR requerida, SIR necesaria, tabla de tráfico) y datos de la red de radio (características de las antenas, situación de las EB's y restricciones de equipo) (Figura 4.7).

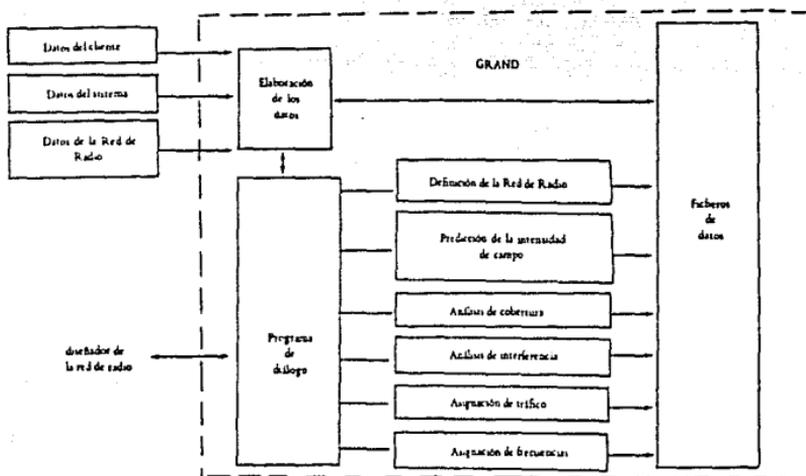


Figura 4.7

Sea cual sea el método utilizado, el procedimiento de cálculo de enlace debe considerar mediciones "in situ" a fin de retroalimentar la información y lograr mejores aproximaciones a la realidad.

IV.3) ENLACE AL SATELITE

IV.3.1) CALCULO DEL ENLACE

La potencia requerida para la transmisión de información puede ser determinada a través de una relación portadora a ruido (C/N) superior a cierto umbral preestablecido. El valor de esta relación depende de la tasa de información requerida, la relación señal a ruido necesaria (para el caso de señales analógicas) o la tasa de error (para señales digitales), la técnica de modulación y el ancho de banda asociado. <4>

El cálculo de la relación portadora a ruido se obtiene por la siguiente expresión:

$$\frac{C}{N} = \frac{(P_T G_T)}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} \left(\frac{G_R}{T_s}\right) \frac{1}{K B}$$

donde:

P_T = potencia de transmisión

G_T, G_R = ganancia de la antena transmisora y receptora respectivamente

T_s = temperatura del sistema

R = distancia entre transmisor y receptor

λ = longitud de onda de la portadora

B = ancho de banda asociado

K = constante de Boltzmann

De la expresión anterior se han establecido algunos términos ingenieriles, a saber:

$$(P_T G_T) = \text{P.i.r.e. (potencia isotrópica radiada equivalente)}$$

$$\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 = L_2 \quad (\text{pérdida de espacio libre})$$

Finalmente, utilizando estos términos y considerando la relación portadora a densidad de ruido a fin de independizar la expresión del ancho de banda, tenemos:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{\text{P.i.r.e.} \left(\frac{G}{T}\right)}{L_2} \frac{1}{K} \quad \dots\dots\dots (a)$$

La relación portadora a densidad de ruido es de gran significancia ya que ésta es proporcional a la máxima tasa transmisible de información con una potencia de portadora dada e independientemente del ancho de banda. Esto se aprecia en la ecuación de Shannon para la capacidad del canal, que se define como la máxima tasa a la que se puede transmitir información sin errores:

$$H = \log_2 \left(1 + \frac{C}{N_0 B} \right)^B$$

$$\lim_{B \rightarrow \infty} H = \frac{C}{N_0} \log_2 e$$

De entre los parámetros que influyen de manera importante en el desempeño del enlace satelital tenemos tanto el tamaño de las antenas como su ganancia. El caso que reviste más importancia es el que considera en un extremo del enlace una ganancia fija de la

antena y en el otro extremo, un tamaño fijo de antena. Este caso se aplica directamente al enlace descendente (downlink) donde la ganancia de la antena de transmisión del satélite es fija, mientras que el tamaño de la antena de recepción en tierra es manipulable hasta donde lo permiten el costo y la conveniencia.

En este caso, la relación C/N_0 está dada por:

$$\text{enlace descendente : } \left[\frac{C}{N_0} \right]_d = \frac{\eta K_i A_R}{4\pi A T_e S} P_T \quad \text{donde } A_R = A_T$$

$$\text{enlace ascendente : } \left[\frac{C}{N_0} \right]_u = \frac{\eta K_i A_T}{4\pi A T_e S} P_T$$

Estas expresiones conducen a resultados importantes; si se considera conocida el área de cobertura, el desempeño del enlace es ahora independiente tanto de la distancia como de la longitud de onda. En este sentido, si se consideran los efectos generales en una primera aproximación, resulta que la altura de la órbita del satélite y la frecuencia de la portadora no son importantes, aún cuando es claro que el comportamiento del equipo, las pérdidas atmosféricas y la interferencia con otros sistemas son factores importantes en la determinación de la frecuencia de la portadora. Por otra parte, es el tamaño físico de la antena el que cuenta y no su ganancia.

Finalmente, dado que el tamaño de las antenas es el mismo para ambos enlaces y corresponde a la antena de la estación en tierra, podemos concluir que el comportamiento de cualquier

sistema de comunicaciones via-satélite con una cobertura fija depende, para ambos enlaces, del tamaño de la antena de la estación terrestre. <5>

Enlaces Sarelitales.

Expresando la ecuación (a) en decibeles tenemos:

$$\frac{C}{N_o} = \text{p.i.r.e.} - L_s + \frac{G_R}{T_s} - K \quad [\text{dB}]$$

- Enlace ascendente.- En este caso se introduce un parámetro intermedio que es la densidad de flujo de potencia requerida para producir el nivel máximo o de saturación en la salida del transpondedor para una sola portadora. Es un parámetro propio del satélite que determina el nivel de recepción requerido por éste.

$$\phi = \text{p.i.r.e.} - L_s + \frac{4\pi}{\lambda^2} \quad [\text{dBW} / \text{m}^2]$$

para el enlace de subida :

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_u = \phi - \frac{4\pi}{\lambda^2} + \left[\frac{G}{T} \right]_{st} - K$$

- Enlace descendente.- En forma directa:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_d = (\text{p.i.r.e.})_d - (L_s)_d + \left[\frac{G}{T} \right]_d - K$$

Dado que en la práctica la transmisión via-satélite involucra un gran número de señales que a su vez contienen frecuencias espurias, se generan productos de intermodulación que son considerados como ruido adicional en el enlace. En general, el nivel relativo de estas componentes espurias es proporcional al nivel de operación del transpondedor; por lo tanto, es común operar estos transpondedores abajo de su nivel de saturación. El valor de esa reducción se conoce como "back-off" y depende de la no linealidad específica de los componentes y del espectro de la señal de entrada. De lo anterior:

$$\left[\frac{C}{N} \right]_d = (p.i.r.e.)_d - (EIRP)_o - (L_r)_d + \left[\frac{G}{T} \right]_d - K$$

El back-off puede lograrse reduciendo la potencia de transmisión en el enlace ascendente o reduciendo la amplificación en el transpondedor del satélite; en esta última opción, una reducción en la amplificación incrementa el valor de la densidad de flujo de potencia y hace a la relación C/No independiente del back-off. Por lo tanto, es deseable obtener el nivel de back-off a través de un control de ganancia en el transpondedor, lo cual es de gran importancia a fin de proporcionar un desempeño óptimo en un sistema con diferentes tamaños de antena en tierra.

Optimización del enlace de radiofrecuencia.

La optimización del enlace busca obtener el máximo valor total de la relación C/No considerando el comportamiento de ésta en ambos enlaces y en referencia a la intermodulación, y basándose en un valor dado de back-off como dato de entrada.

El cálculo de la relación C/No total está dado por:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_T^{-1} = \left[\frac{C}{N_o} \right]_d^{-1} + \left[\frac{C}{N_o} \right]_u^{-1} + \left[\frac{C}{N_o} \right]_i^{-1}$$

El cálculo de la relación (C/No) de intermodulación es función del número de portadoras a transmitir, sus características de modulación y las características en amplitud y fase del amplificador de alta potencia en el transpondedor.

El procedimiento de optimización está dado por el siguiente diagrama de flujo que se repite introduciendo diferentes valores para el back-off de entrada hasta obtener la relación C/No total máxima, y se apoya en gráficas como las siguientes (Figura 4.8):

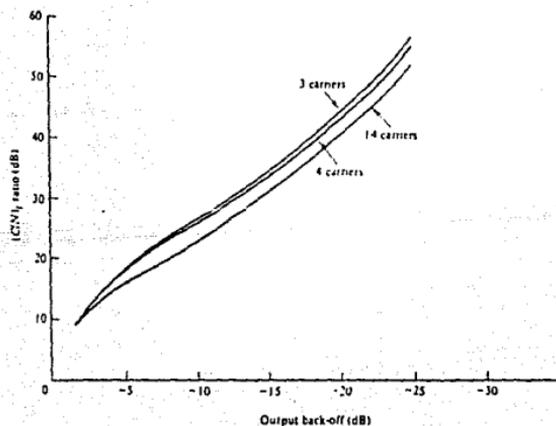


Figura 4.8 (a)

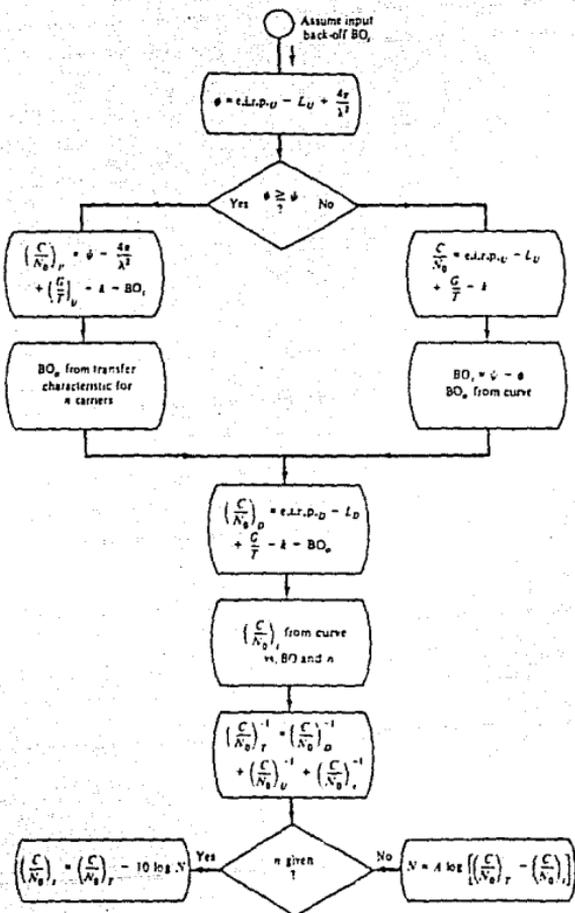


Figure 4.8 (b)

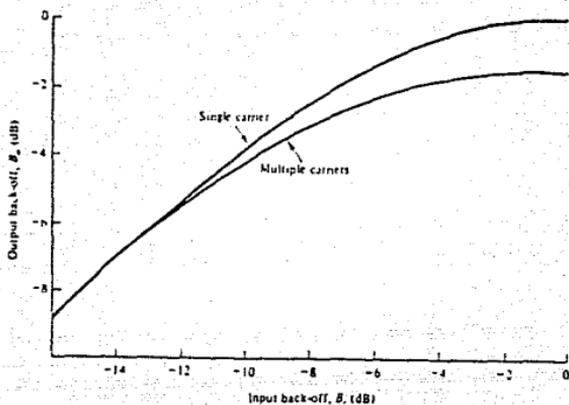


Figura 4.8 (c)

IV.3.2) ASIGNACION DE FRECUENCIAS

La asignación de frecuencias en un sistema de comunicación vía-satélite es un aspecto muy importante a considerar debido sobre todo al costo que representa la utilización del satélite; por esto, es muy conveniente el uso óptimo del ancho de banda de dicho satélite que es asignado al sistema. El estudio de diferentes técnicas de procesamiento de las señales permitirá apoyar la toma de decisiones al respecto.

Para el tratamiento del enlace desde el punto de vista de las mencionadas técnicas de procesamiento, pueden establecerse los siguientes niveles de estudio:

El primer nivel se refiere a la modulación en banda base, donde las señales individuales de voz, datos o video son tratadas para hacerlas susceptibles de transmisión o de un procesamiento posterior. El siguiente nivel involucra técnicas de multiplexaje que permiten combinar varios canales de igual o diferente naturaleza a fin de obtener una señal compuesta conteniendo un mayor monto de información. El tercer nivel corresponde a la modulación de esta señal en una sola portadora para permitir su transmisión en el enlace de radiofrecuencia. Finalmente, el cuarto nivel tiene que ver con las técnicas de acceso múltiple de la señal, algunas de las cuales están muy relacionadas con las técnicas de multiplexaje utilizadas previamente.

En un sentido amplio, existen dos tipos de transmisión de señales usados en telecomunicaciones: la analógica y la digital.

Sistemas de transmisión analógica.

Estos sistemas se pueden clasificar a su vez en dos tipos distintos. Por un lado tenemos los sistemas de canales múltiples por portadora (MCPC, por sus siglas en inglés) que emplean portadoras moduladas por señales multiplexadas que contienen muchos canales; por otro lado, existen los sistemas de canal único por portadora (SCPC, por sus siglas en inglés) en los que cada canal tiene asignada su propia portadora.

En general, los sistemas MCPC utilizan amplitud modulada para el canal en banda base, multiplexaje por división de frecuencia (FDM) para combinar estos canales y frecuencia modulada en la portadora de radiofrecuencia.

Los sistemas SCPC analógicos utilizan frecuencia modulada en cada una de las portadoras.

El multiplexaje por división de frecuencia combina múltiples canales analógicos para formar una señal compuesta de mayor nivel. Esta técnica ha sido empleada desde antes del advenimiento de las comunicaciones por satélite estableciéndose en aquel entonces una jerarquía que permitió organizar la combinación de canales de una manera estructurada; aparecieron así términos como grupo (12 canales), supergrupo (60 canales), mastergrupo, jumbogrupos, etc. (Figura 4.9).

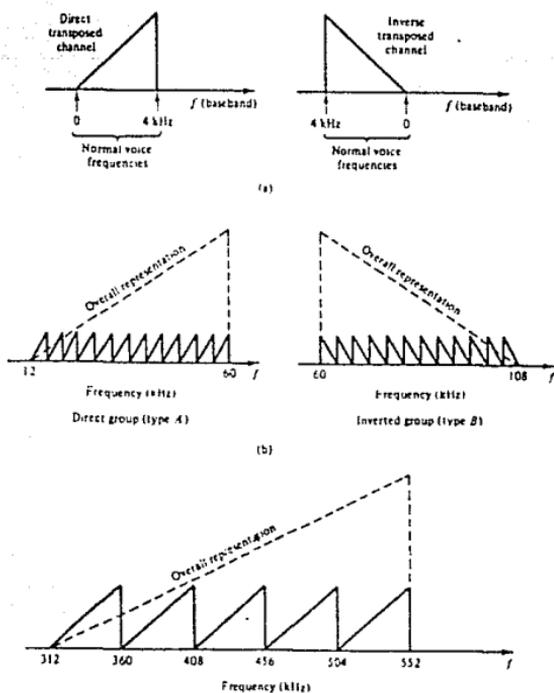


Figura 4.9

La utilización de FDM requiere una inversión considerable en equipo por canal.

Sistemas de transmisión digital.

La fusión de las tecnologías de computadoras y comunicaciones en lo que se ha dado en llamar informática ha sido tan fuerte que ha orientado la evolución de los sistemas al empleo de la transmisión digital.

En semejanza a la transmisión analógica, los sistemas de transmisión digital contemplan esquemas de MCPC y SCPC. Un sistema digital SCPC debe considerar en primer lugar la conversión de la señal analógica de voz en una señal digital usando alguna de varias técnicas existentes de codificación; entre ellas tenemos la modulación por codificación de pulsos (PCM), la modulación delta (DM) y otras técnicas adaptativas. Posteriormente, la señal digital que representa el canal de voz es utilizada para modular una portadora de radiofrecuencia usando generalmente la técnica de corrimiento de fase (PSK).

En los sistemas MCPC, múltiples señales digitales de voz son combinadas utilizando multiplexaje por división de tiempo (TDM); la señal compuesta resultante modula a una portadora de radiofrecuencia de banda ancha utilizando PSK.

El multiplexaje por división de tiempo permite combinar múltiples señales digitales para formar una señal compuesta con una tasa de transmisión mayor o igual a la suma de las tasas de

las señales de entrada, las cuales pueden ser de diferente naturaleza: voz, video, datos. Como en el caso de FDM, la técnica de TDM también está estructurada jerárquicamente.

Técnicas de Acceso Múltiple.

Lo que se conoce como acceso múltiple permite explotar al máximo nivel la ventaja de cobertura del satélite y se trata de una técnica que permite el uso simultáneo del transpondedor de un satélite por más de un par de estaciones. El concepto de acceso múltiple involucra sistemas que permiten a múltiples estaciones terrestres la interconexión de sus enlaces de comunicación a través de un solo transpondedor; éste puede ser accedido por una o múltiples portadoras las cuales pueden estar moduladas por una o múltiples señales de banda base que pueden incluir voz, datos y/o video.

Existen fundamentalmente tres tipos de sistemas:

- Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA): Este tipo de sistemas distribuyen múltiples portadoras en el transpondedor. El ancho de banda asociado con cada portadora puede ser tan pequeño como el requerido para un solo canal de voz. Esta técnica puede utilizar transmisión analógica o digital.

Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA): Se caracteriza por el uso de una sola portadora por transpondedor, donde normalmente el ancho de banda asociado a dicha portadora es igual al ancho de banda total del transpondedor. Esta técnica permite transmisión digital exclusivamente y opera en modo discontinuo.

- Acceso múltiple por división de código (CDMA): Este método transforma la señal usando una secuencia de código única para cada usuario. Todos los usuarios transmiten simultáneamente utilizando el ancho de banda total del transpondedor al mismo tiempo. Esta técnica se orienta exclusivamente a la transmisión digital.

En el diseño de sistemas vía-satélite siempre es muy importante la selección de una técnica de acceso múltiple adecuada a fin de cubrir los requerimientos de los servicios de comunicación que se ofrecerán. En este sentido se deben considerar los siguientes factores: <6>

- Capacidad: Se define usualmente en términos del número de canales de voz o datos que con una calidad determinada puede ser acomodado usando la potencia y el ancho de banda de un solo transpondedor. Usualmente la selección de una u otra técnica se inclina por la de mayor capacidad; sin embargo, los requerimientos del sistema pueden conducir dicha selección prioritariamente hacia aspectos de costo.

- **Potencia y ancho de banda del radioenlace:** Estos parámetros son el recurso fundamental del enlace satelital. La potencia y el ancho de banda disponibles en un sistema de comunicaciones se reflejan directamente en el costo, por lo que un sistema de acceso múltiple debe estar limitado por ambos parámetros simultáneamente.

- **Interconectividad:** Considerando una red de comunicaciones con geometría multinodal, la habilidad de una técnica de acceso múltiple para proveer interconectividad entre sus usuarios a través de diferentes niveles de calidad y tasas de transmisión o anchos de banda hace del uso del satélite el método de mayor eficiencia en cuanto a costo.

- **Adaptabilidad al crecimiento:** Dado que la inversión en el equipo destinado al manejo del acceso múltiple puede representar una parte considerable del costo del sistema en tierra, se debe considerar la habilidad de la técnica elegida para adaptarse al crecimiento de tráfico y a cambios en los patrones del mismo.

- **Manejo de múltiples servicios:** La evolución irreversible de las comunicaciones hacia la oferta de múltiples servicios compartiendo las mismas facilidades de transmisión implica que los sistemas de acceso múltiple deben ser diseñados para considerar estos requerimientos futuros.

- Interfaz terrestre: La interconexión con servicios terrestres ya existentes es extremadamente importante para la economía global y la eficiencia técnica del sistema de acceso múltiple. En el futuro resultará más atractivo el empleo de técnicas digitales debido al creciente número de interconexiones de ese tipo.

- Seguridad de la comunicación: Ante el creciente uso del satélite para las comunicaciones comerciales y gubernamentales, se debe asegurar la confidencialidad de las transmisiones por este medio.

- Efectividad en el costo: El costo por canal en un sistema de acceso múltiple es una consideración importante en el diseño. Debido al continuo desarrollo de las técnicas digitales, su atractivo económico continúa incrementándose; sin embargo, las técnicas analógicas pueden seguir siendo más eficientes en ciertas situaciones.

Sistemas F D M A .

La primera técnica de acceso múltiple empleada en comunicaciones via-satélite fue el sistema MCPC analógico. Este sistema contempla la modulación en amplitud de los canales individuales de voz a través de portadoras que son multiplexadas en FDM a fin de formar señales base de acuerdo a un plan de frecuencias predeterminado. En cada estación, estas señales base

modulan en frecuencia a portadoras predeterminadas para transmitir las en una porción también predeterminada del ancho de banda del transpondedor; desde el punto de vista de la recepción, la estación capta todas las señales de las demás estaciones y separa de cada una de ellas los canales que tiene asignados. Este método proporcionó por muchos años excelente calidad de voz y servicio, pero tiende a ser inflexible para adaptarse a redistribuciones debidas a cambios en la demanda de tráfico.

Por otra parte, debido a los altos requerimientos de equipo por canal, este sistema no incrementa su eficiencia en costo al elevarse el número de canales; además, como el sistema opera con múltiples portadoras se presentan ineficiencias debidas al comportamiento no lineal del transpondedor; por lo tanto, al operar en acceso múltiple no siempre se obtiene la máxima capacidad. Sin embargo, para el caso de enlaces punto a punto de gran capacidad esta técnica puede proporcionar altas capacidades de transmisión en forma competitiva.

Aunado a lo anterior, se cuenta también con el sistema MCPC digital. En este caso, las señales base mencionadas se componen de múltiples canales digitales multiplexados en tiempo, los cuales modulan a portadoras digitales utilizando comúnmente modulación en PSK.

Además, en este tipo de sistemas también se utilizan técnicas de SCPC en donde cada canal de voz o datos modula a una portadora exclusiva. No hay multiplexaje involucrado excepto al

nivel del transpondedor donde se da una distribución por división de frecuencias. Cada una de las portadoras que ocupan una porción del transpondedor pueden estar preasignadas a canales individuales para su uso exclusivo; o bien, bajo demanda asignada donde éstas son dirigidas a cualquier canal individual disponible según se requiera.

El sistema SCPC digital contempla la conversión analógica-digital del canal de voz y una modulación en PSK para la portadora de radiofrecuencia. El sistema SCPC analógico contempla directamente una modulación en frecuencia de dicha portadora sin ningún tipo de procesamiento de la señal de voz.

Sistemas T D M A .

El concepto básico de esta técnica es el siguiente:

Las estaciones dentro de una red usan una sola frecuencia portadora cuyo ancho de banda ocupa la totalidad del transpondedor. Esta portadora es compartida en tiempo para permitir a cada estación transmitir su información modulada digitalmente y en partidas (bursts) sincronizadas que incluyen partidas de referencia que permiten la sincronización y las de información de las estaciones transmisoras. Una vez que todas las estaciones han transmitido una partida se ha completado un patrón, el cual tiene un intervalo de tiempo típico de unos milisegundos. Las señales a transmitir pueden ser de variada naturaleza; sin embargo, aquéllas de tipo analógico como las de voz y televisión necesitan la conversión a digital.

Por otra parte, es posible utilizar una subbanda del ancho de banda total del transpondedor para cubrir requerimientos de redes pequeñas como las que emplean los sistemas privados corporativos y los servicios regionales de comunicación.

En ambos casos, la técnica goza de flexibilidad e interconectividad; así como de excelente disponibilidad a la transmisión digital.

Actualmente los satélites modernos de comunicación son diseñados para incluir antenas destinadas a cubrir diferentes áreas de la superficie terrestre mediante el uso de los llamados "haces pincel" (spot beams). Dichos satélites cuentan con un sistema de conmutación controlado desde tierra de manera que una estación que opera en uno de los haces se puede comunicar con cualquiera otra en cualquier otro haz. Los sistemas TDMA tienen una particular ventaja en este esquema dado que permiten al conmutador del satélite conectar selectivamente haces ascendentes individuales con haces descendentes.

Sistemas C D M A .

En esta técnica, las estaciones transmisoras utilizan la misma frecuencia portadora simultáneamente haciendo uso de técnicas de comunicación de espectro amplio. En CDMA cada bit del mensaje es transmitido como una secuencia de bits de mayor tasa de transmisión y con un código predeterminado, estos bits son llamados chips para diferenciarlos de los bits del mensaje original.

El número de estaciones que pueden acomodarse en este esquema depende fuertemente del número de chips por bit. Otro factor importante es el grado de semejanza entre los niveles de potencia en la recepción de las diferentes estaciones. Por otra parte, la codificación de mensajes mediante secuencias de código pseudo-aleatorias produce espectros de energía muy uniformes.

Dado que el receptor, al conocer de antemano la secuencia del código, es capaz de reconstruir el mensaje bajo condiciones de señal a ruido extremadamente adversas, esta técnica es muy atractiva en el ambiente actual de las comunicaciones satelitales limitadas por la creciente interferencia.

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD.

El cálculo de capacidad, en el sentido de determinar el número de canales de los que se puede disponer en un sistema en particular, demanda como primer paso la determinación de la relación C/No total disponible en el enlace satelital; el siguiente paso es determinar la relación C/No requerida para lograr un nivel de calidad o un desempeño específico por canal o grupo de canales. Posteriormente se comparan ambas relaciones para determinar la capacidad del sistema. Además, se deben tener en cuenta consideraciones de ancho de banda de los canales y de los niveles de potencia requeridos; de hecho, la potencia y el ancho de banda son los criterios bajo los cuales se calcula la verdadera capacidad de un sistema, la cual se entiende como el número máximo de canales que cumple simultáneamente con las limitantes de dichos criterios.

Aunque el procedimiento básico para el cálculo de la capacidad en cualquier sistema es el anteriormente mencionado, se presentan algunos detalles dependiendo del tipo de sistema analizado. Si el sistema es de naturaleza digital, se involucran parámetros como la tasa de error, la tasa de transmisión y la relación energía por bit a ruido; si el sistema es de naturaleza analógica se consideran tonos de prueba contra los que se comparan las relaciones señal a ruido de los canales alojados en el extremo superior del ancho de banda asignado.

Comparación entre las técnicas de acceso múltiple.

La gran variedad de técnicas de acceso múltiple provee gran flexibilidad al diseño de sistemas de comunicación por satélite. Cada técnica se ajusta mejor a algún tipo de sistema en particular (Figura 4.10).

Las técnicas SCPC operan mejor en redes que atienden a un gran número de usuarios, cada uno de ellos con una densidad de tráfico relativamente pequeña.

Los sistemas MCPC, tanto analógicos como digitales, operan muy eficientemente en enlaces punto a punto con tráfico pesado y con pocas portadoras de gran ancho de banda ocupando el transpondedor; esto limita la capacidad del acceso múltiple pero otorga un gran número de canales por transpondedor.

Por otra parte, los sistemas TDMA son un buen compromiso al manejar eficientemente un número intermedio de estaciones con un tráfico moderado en cada estación, además de proveer excelente interconectividad.

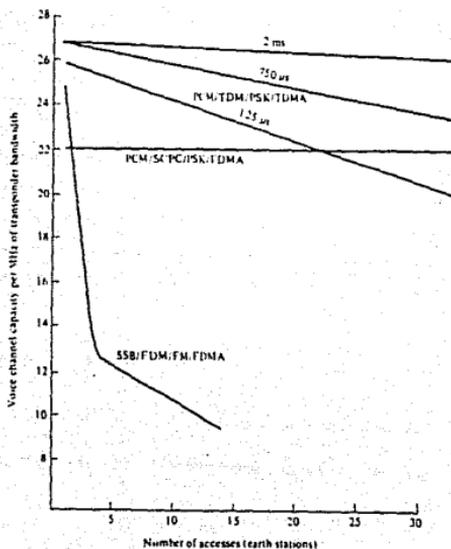


Figura 4.10

IV.4) FACILIDADES DE COMUNICACION ADICIONALES

La posibilidad de introducir nuevos servicios en una red de comunicaciones influye en la toma de decisiones presente y a futuro respecto de cuestiones técnicas de gran relevancia. En el caso de un sistema celular via-satélite se tendrían que considerar aspectos tanto en el enlace de microondas como en el satelital. En el primero se podrían ver afectados aspectos como el ancho de banda del canal de voz, los niveles de calidad de transmisión, la naturaleza del enlace (analógico o digital) y cuestiones de software como los criterios para la transferencia de llamadas, la numeración, el mecanismo de direccionamiento de llamadas, etc.; en lo referente al enlace via-satélite podrían modificarse particularmente las técnicas de multiplexaje y de acceso múltiple.

Considerando la situación económico-social del ámbito rural mexicano, así como sus perspectivas de desarrollo, es de suponerse que la satisfacción de la demanda de servicio telefónico en esas zonas cubra de manera importante las necesidades de comunicación en el corto y mediano plazos.

Sin embargo, ante la fuerte tendencia a nivel mundial hacia la digitalización de las comunicaciones así como las políticas que en este sentido ha planteado recientemente el gobierno federal en materia de radiotelefonía celular, es posible considerar en un futuro cercano la inclusión de un servicio telefónico mejorado que contemple la operación de sistemas privados para uso gubernamental o corporativo y que introduzca servicios como el telefax, el télex, etc.

IV.5) INFRAESTRUCTURA

Otro aspecto importante a considerar en el diseño de redes de comunicación es la selección adecuada de las instalaciones donde se alojará por un lado el equipo de control y conmutación del sistema y por otro lado los recursos humanos que supervisarán y administrarán la operación del mismo. Dichas instalaciones deben considerar las condiciones ambientales prevaecientes en la región de servicio a fin de evitar deterioro en los equipos.

Por otra parte, las especificaciones del equipo de transmisión deben adecuarse también a las condiciones del medio ambiente en donde se va a operar.

Además se debe considerar equipo de respaldo que pueda soportar situaciones de emergencia por fallas mayores en el sistema.

Finalmente, se debe considerar desde el inicio un plan de mantenimiento orientado preferentemente a la prevención de fallas tanto en el equipo de conmutación y control como en el de transrecepción.

CAPITULO V
PLANEACION DE REDES CELULARES

En este capítulo se presentan brevemente algunos conceptos modernos de lo que es la planeación actualmente y se propone, asumiendo estos conceptos, una metodología orientada a la planeación de redes celulares desde un punto de vista más amplio que el tradicionalmente técnico y considerando dos enfoques: el de la empresa pública y el de la empresa privada.

V.1) CONCEPTOS DE PLANEACION, SISTEMA E IMPORTANCIA
DE LA INFORMACION

PLANEACION

En una acepción general, planificar es decidir en el presente qué acciones se tomarán en el futuro a fin de obtener ciertos propósitos preestablecidos.

Desde el punto de vista sistémico, el proceso de planeación trata de establecer un marco de referencia que permita ubicar de alguna manera a la situación en análisis dentro del escenario correspondiente, considerando a aquélla como un sistema y a éste como un suprasistema, ambos con relaciones inter e intraestructurales. El establecimiento de dicho marco de referencia depende de una concepción filosófica de la realidad; esto explica la existencia de variadas metodologías de planeación atribuidas a diferentes autores. Sea cual sea el enfoque utilizado, el resultado es la obtención de directrices que permitan llevar a nuestro sistema a la consecución de los fines preestablecidos ya mencionados, tomando en cuenta la interrelación existente con el escenario; o bien, en ausencia de estos fines, llevar al sistema a un estado más armónico con su medio ambiente.

En general, el proceso de planeación ha sido aplicado como una técnica o un método, dejando de lado el sustento analítico que proporciona el hecho de basarse en una teoría rigurosa; esto ha ocasionado que en periodos de grandes transformaciones se demuestre justamente su ineficacia y su inadecuación a los procesos evolutivos del medio ambiente.

En este sentido, es conveniente distinguir entre teorías normativas y teorías sustantivas de planeación. Las primeras representan el proceso de planeación incluyendo su ideología, valores, propósitos y principios; las segundas representan las teorías descriptivas y predictivas orientadas a la estructura y funcionamiento del ente bajo análisis. Ambos tipos de teorías son necesarios para planificar; el enfocarse sólo en el procedimiento conduciría al desarrollo de teorías de planeación rigurosas pero poco relevantes; por otro lado, planificar contando sólo con conocimientos técnicos particulares sobre el sujeto de planeación da lugar a un enfoque muy estrecho, modelando la realidad según la especialidad de quien observa y siguiendo el mismo procedimiento planificador ante diferentes situaciones.

Las teorías de planeación fundamentan procedimientos para la toma de decisiones: en este sentido, todos los enfoques de planeación contemplan de alguna manera los siguientes problemas asociados a la misma:

- * CONOCER.- En toda actividad, la toma de decisiones implica la necesidad de conocer el estado de cosas. Sin embargo, para conocer la realidad particular que nos interesa no basta con estudiar técnicamente la estructura y funcionamiento de las diferentes partes del sistema en cuestión, sino que es necesario conocer la interacción de cada una de ellas con el resto. La esencia de la realidad es la complejidad y conocerla no es suficiente para conocer una situación problemática ya que ésta es una imagen mental de

quien observa la realidad, por lo que se introduce un elemento subjetivo que la hace aún más compleja. Conocería es pues uno de los retos de la planeación.

* HACERSE UNA IDEA DE LA SITUACION FUTURA.- El futuro sólo puede ser imaginado; entonces, el problema reside en hacer imágenes que sean probables, pues de ellas dependerán el diseño de acciones, el costo y el éxito del plan. La idea de la situación futura no debe ser una conjetura meramente intuitiva, ni tampoco una extrapolación de los datos del presente; es necesario trasladar la complejidad del presente al futuro mediante ejercicios imaginativos restringidos por predicciones técnicas.

* ESTABLECER LOS OBJETIVOS DEL PLAN.- Para esto se requiere imaginar el estado futuro de la situación si no se tomara ninguna acción planeada y el estado futuro deseable, para compararlos y, en base a las diferencias, encontrar que tan insatisfactorio resulta el primero.

* DECIDIR QUE ACCIONES TOMAR A FIN DE OBTENER LOS OBJETIVOS DESEADOS.- La decisión es una elección que afronta una incertidumbre limitada, por lo que permite y obliga a que el decisor imagine posibles resultados en cada alternativa considerada. Es importante señalar que los efectos estimados de las opciones en el momento de la decisión no son deducciones puras de la realidad observable, sino que contienen elementos de la imaginación y de la idealidad del decisor.

* CONTROLAR LOS RESULTADOS.- La planificación encierra más responsabilidad que tomar decisiones una sola vez debido, entre otras razones, a:

- que el futuro, al volverse presente, no será el mismo que el previsto.
- que las acciones prescritas en el plan no serán exactamente reproducidas en la práctica.
- que los resultados obtenidos no serán precisamente iguales a los esperados.

Lo anterior hará que el plan original se vuelva obsoleto muy pronto en caso de mantenerse inflexible, por lo tanto, es mejor considerar a la planificación como un procedimiento que repetidamente evalúa el progreso y prescribe nuevas instrucciones para alcanzar los objetivos.

S I S T E M A

En un mundo cada vez más complejo e interdependiente, la inclusión del enfoque de sistemas en la metodología de planeación ha permitido considerar la situación-problema desde una perspectiva más amplia, tratando de tomar todos los aspectos en cuenta y concentrándose en las interacciones entre las diferentes partes del problema.

En general, hablar de un sistema es hablar de la cohesión de cierto número de elementos que representan las partes del sistema. Dado que un sistema no es algo dado por la naturaleza, sino reconocido por la inteligencia, la identificación de un conjunto de elementos como coherente, y por lo tanto como sistema, es un acto de reconocimiento mental.

Al declarar que un conjunto debe llamarse sistema, se está reconociendo una relación. Este reconocimiento contempla tres fases: <1>

- Reconocimiento de relaciones particulares que son evidentes, lo cual convierte a una simple agrupación en una asociación.
- Detección de un patrón en el conjunto de relaciones de que se trate, lo cual lleva a una asociación dispuesta sistemáticamente.
- Percepción de un objetivo.

En la aplicación del concepto de sistema encontramos gran variedad de enfoques; en este sentido, la perspectiva que considera a las organizaciones como sistemas sociotecnológicos reviste particular interés en nuestro caso ya que éstas enfatizan las interrelaciones entre tecnología, ambiente, sentimientos de los participantes y la forma organizacional, tomando en cuenta todas las variables que representan tales relaciones en el análisis empírico y la prescripción de cambios.

El problema a resolver con este enfoque es encontrar qué clase de estructura formal puede relacionar más efectivamente unas con otras las variadas demandas del ambiente, de la tecnología y de los recursos humanos, entendiéndose la efectividad como la consecución de los objetivos o "tarea primordial" de la organización. En este sentido, se han dado diversas corrientes que se enfocan ya sea en la tecnología de producción, en las relaciones sociales de los participantes de la organización o en la naturaleza del mercado en el cual ésta opera.

El enfoque de sistema sociotecnológico distingue en las organizaciones dos tipos de estructuras: la estructura formal o sistema de tareas y una estructura informal o sensible. La estructura formal opera directamente sobre el sistema sensible y a su vez las necesidades de personalidad de los recursos humanos (sistema sensible) limitan el tipo de organización usada para alcanzar el objetivo de la organización. Así, una organización necesita una estructura que asegure el compromiso de sus miembros a los objetivos de la empresa, de manera que coincidan, tanto como sea posible, las necesidades humanas y los propósitos de la estructura formal. La ventaja más sobresaliente de este enfoque es que ha tomado en cuenta la interrelación entre lo formal y lo informal y entre lo organizacional y lo extraorganizacional. Es por esto que el empleo del esquema de sistemas sociotecnológicos ha sido muy útil en el desarrollo de soluciones a problemas específicos donde anteriormente se consideraba la situación-problema como un ente aislado e independiente del medio ambiente.

Sin embargo, existen algunas teorías sociotecnicistas que se han concentrado en las características del ambiente de la organización desde el punto de vista de la naturaleza del mercado en el cual opera, a fin de determinar la estructura organizacional más adecuada; en otras palabras, se considera al medio ambiente en términos puramente económicos, lo cual representa una seria limitación a la comprensión de la realidad.

Tanto en la situación como en el escenario podemos distinguir tres estructuras principales, a saber: la estructura económico-social, la estructura político-jurídica y la estructura ideológica. Estas estructuras no se encuentran ni pueden existir jamás separadas ya que todas están contenidas entre sí dentro de la unidad estructural que representa la situación; se determinan, influyen y sustituyen unas a otras y todas constituyen una unidad situacional indivisible. <2>

Aunque es sabido que la estructura económico-social es en todo momento la determinante del cambio en la situación, deben siempre considerarse las otras estructuras, ya que en un momento dado alguna de ellas puede presentarse como la dominante. Además, es importante considerar la relación entre la situación y el escenario. En este sentido, se debe establecer si la situación es determinante y/o dominante sobre el escenario o viceversa. Esto tiene una gran importancia porque la transformación de la situación, cuando ésta es determinada por el escenario, no sólo implica reordenar, reproporcionar y revincular los elementos estructurales de la situación entre sí, sino los de ésta con los del escenario. <3>

I N F O R M A C I O N

La información constituye un importante recurso para los procesos de toma de decisiones y de planeación.

Para el gestor es necesario conocer el estado actual del objeto conducido en cualquier momento, y captar información a través de indicadores relevantes que provengan no únicamente del objeto conducido, sino de otros sistemas vinculados, para que la toma de decisiones sea adecuada al medio en que funciona el sistema. Para la planeación se requiere adicionar información sobre el desarrollo del objeto conducido y de otros subsistemas interrelacionados. La eficacia y eficiencia de los procesos de toma de decisiones y de planeación depende de la disponibilidad de la información; de aquí la importancia de contar con un diseño conceptual de este subsistema que permita captar, generar, seleccionar, transmitir, procesar y presentar la información.

V.2) METODOLOGIA DE PLANEACION

La formulación de la estructura del proceso de planeación constituye una tarea compleja. En este sentido, es conveniente, desde el punto de vista sistémico, utilizar un procedimiento basado en la descomposición funcional, que consiste en desmembrar un sistema en subsistemas cuyas funciones y propiedades aseguren las del sistema en su conjunto.

Esta formulación debe realizarse considerando las estructuras externa e interna del sistema. La primera se establece con base en el papel que el sistema juega en el suprasistema que lo contiene; la segunda, en particular su estructura funcional, se obtiene al considerar un sistema como un agregado hipotético de subsistemas interconectados de tal forma que esté asegurado su funcionamiento (Figura 5.1).

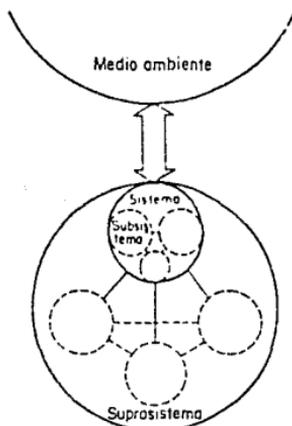


Figura 5.1

En base a lo anterior, se establece un primer desglose tomando en cuenta las funciones básicas reconocidas del proceso de planeación (Figura 5.2) y considerando los puntos de vista de la empresa pública y la empresa privada :

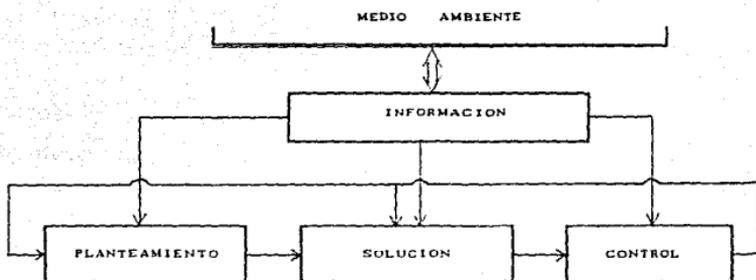


Figura 5.2

V.2.1) Planteamiento de la situación-problema

En el caso particular del ámbito rural mexicano, se acepta sin lugar a dudas la existencia de una demanda insatisfecha de comunicaciones, particularmente la telefonía, para un gran número de habitantes. Esto ha frenado la integración de esta población al desarrollo nacional.

Tomando en cuenta la evolución de la telefonía celular en los países desarrollados, es de esperarse que esta tecnología penetre firmemente en los países en vías de desarrollo y eventualmente invada también el ámbito rural. Hasta ahora no se cuenta en el país con antecedentes que ofrezcan una base para iniciar el estudio de la problemática de las comunicaciones celulares en el ámbito rural; por lo tanto, el planteamiento de las relaciones entre una red de telefonía celular (el sistema) y el ámbito rural en el que operará (medio ambiente) deberá establecerse en base a estudios prospectivos; de esta manera, se buscará conocer qué tan determinantes pueden resultar algunos elementos de la situación-problema en la planeación de una red celular. Desde el punto de vista de la empresa pública tenemos básicamente los siguientes elementos :

- La función de la telefonía celular en las comunicaciones.- El conocimiento que se tenga de este elemento permitirá establecer el grado de prioridad a que será sujeta la red celular desde el punto de vista de una empresa pública. Esto se verá reflejado en un apoyo político y presupuestal determinado.
- La importancia de la telefonía celular en el ambiente socioeconómico nacional.- Este elemento permitirá establecer, en primer lugar, el nivel de influencia de la economía en el desarrollo de la red; en segundo lugar, permitirá conocer el grado y ritmo de penetración del servicio en la sociedad, lo cual contribuirá a elaborar pronósticos de demanda y así establecer planes de crecimiento de la red.

- La importancia de las estructuras de poder en el desarrollo de la telefonía celular.- Este elemento puede llegar a ser dominante en un momento dado. Sobre todo considerando la importancia de los grupos de poder en el comportamiento de la política nacional. El ascenso de un nuevo grupo de poder puede modificar el esquema de políticas y normas en el sector, lo cual, desde el punto de vista de la evolución de la empresa pública, es muy determinante. Lo anterior se puede dar desde arriba (las autoridades) o desde abajo (los trabajadores), o desde ambas.

El conocimiento veraz de estos elementos básicos permitirá, por una parte, construir escenarios de desarrollo nacional y regional del servicio celular; y por otra parte contribuirá a la determinación de objetivos y metas del mismo.

Por otra parte, desde el punto de vista de la empresa privada, se deben considerar los siguientes elementos:

- El papel de la empresa en una corporación.- Debido a la fuerte relación que existe entre la radiotelefonía celular y la telefonía convencional y debido a las enormes inversiones iniciales que se necesitan en la implantación de una red, es muy probable que la empresa de telefonía celular se establezca como una filial de un consorcio empresarial más grande. En este sentido, la empresa se verá afectada por decisiones de más arriba, sobre todo desde el punto de vista económico y, eventualmente, del organizacional.

- El mercado actual y potencial.- Para una empresa privada, el tamaño y características del mercado son de primordial importancia para la elaboración de planes. Si el mercado existente en un momento dado no es suficiente para los planes de expansión o la misma sobrevivencia de la empresa, se debe encontrar la forma de generar nuevos mercados; para esto es importante conocer las necesidades de la población que se piensa atender y su capacidad para satisfacerlas. En el caso particular de la tecnología celular, el manejo de comunicaciones móviles en el ámbito rural abre interesantes expectativas para ofrecer el servicio a lo largo de carreteras y vías férreas, lo cual puede contribuir al desarrollo de asentamientos y al mejoramiento de los servicios de emergencia a lo largo de dichas vías.

- La competencia.- Este es un elemento importante en el planteamiento de la problemática ya que permitirá conocer los niveles de calidad y costo con el que deberá ofrecerse el servicio a fin de que la empresa se mantenga dentro del mercado; por otra parte, el conocimiento de la competencia permitirá establecer los alcances, limitaciones y posible participación en el mercado de comunicaciones. En lo referente a la telefonía celular, un factor que influye fuertemente en la competitividad de la empresa es la facilidad de acceso a la red conmutada; en el ámbito rural en particular, la competitividad en el corto y mediano plazos radicarà en la calidad y costo del servicio telefónico básico.

- Las relaciones con el gobierno.- El conocimiento profundo de la forma en que se comporta la administración pública y las relaciones que se tengan con ésta en un momento dado permitirán, por un lado, prever la evolución de las políticas y de la normatividad en el sector de comunicaciones en general; y, por otro lado, representarán un obstáculo o una ayuda para el crecimiento de la red, la inclusión de nuevos servicios, la utilización de nuevos equipos, la obtención de nuevas concesiones o la ampliación de las ya otorgadas, etc.

Por último, un elemento muy importante a considerar tanto por la empresa pública como por la privada es la dotación tecnológica. Es importante estar al tanto de la evolución de la tecnología en comunicaciones a fin de buscar la adquisición de equipo que ofrezca una vigencia tecnológica aceptable y evitar así caer prematuramente en la obsolescencia, sobre todo considerando las fuertes inversiones que representa dicha adquisición de equipo.

Finalmente, se debe tomar en cuenta que la interpretación de la problemática como la representación de los fenómenos y manifestaciones de ciertas causas y relaciones profundas permite distinguir dos tipos de problemas: los reales, que existen; y los configurados, que surgen a través del análisis de dicha problemática. Esto implica contar con dos tipos de estudios:

- un estudio empírico que describe la problemática mediante la observación y descripción de manifestaciones, dificultades y confusiones, y
- un estudio teórico que conceptualiza los sistemas involucrados a fin de interpretar la problemática e identificar los problemas que la originan, y definir objetivos, funciones y conflictos.

El proceso de planteamiento de la situación-problema considera estas dos etapas que, en su desarrollo se apoyan entre sí de manera iterativa.

V.2.2) Solución a la situación-problema

Es en esta función donde se da la planeación en sí, ya que el producto resultante es la elaboración de planes. Se distinguen dos etapas:

* PRESCRIPCIÓN

Esta etapa trata de dar solución al problema planteado mediante el análisis de distintas opciones factibles a fin de lograr un estado deseado. Considera cuatro actividades principales:

- Construcción de modelos para apoyar la obtención y simular las soluciones a la problemática planteada. La naturaleza del modelo depende del tipo de problema planteado y de la disponibilidad de la información. Se distinguen los siguientes tipos: los descriptivos de la situación en cierto instante de tiempo; los predictivos de los estados futuros; y los prescriptivos, que generan estados futuros deseados del sistema.

- Definición de las restricciones y formulación de criterios. Dentro de este punto, el establecimiento de los beneficios que se deben perseguir con la elección de una solución determinada constituye uno de los principales criterios cuando se trata de empresas de servicio. En lo referente a las comunicaciones rurales y desde el punto de vista de una empresa pública, los beneficios no se visualizan como un éxito económico directo para dicha empresa, sino como el mejoramiento de otros elementos a los cuales se puede sustituir o complementar. En telefonía en general y en el ámbito rural en particular, existen beneficios como los siguientes:

- (i) La comunicación social interpersonal se facilita,
- (ii) Se promueve el crecimiento económico por la apertura potencial de mercados para insumos y bienes y por el acceso a nuevas tecnologías,
- (iii) La labor de administración y servicios públicos se facilita,

(iv) Se estimula el desarrollo de nuevas actividades intensivas en comunicaciones, como la banca, el transporte, el comercio y los servicios.

(v) Se pueden obtener servicios en caso de emergencia, etc.

- Búsqueda de soluciones. Estas deben ser ante todo factibles y además pueden ser permanentes o transitorias dependiendo de la naturaleza de la problemática. Por otra parte, dentro del contexto de una estructura organizacional basada en la interacción de grupos de poder, y ante las soluciones planteadas, se debe evaluar y medir los impactos que los cambios sugeridos puedan tener en dicha estructura.

La viabilidad de una solución determinada, generalmente traducida en planes, requiere por parte del grupo planificador del dominio de una diversidad de elementos de poder; de entre ellos, el más importante es quizás la capacidad para dirigir las reestructuraciones dentro de la organización.

- Evaluación de las opciones. A fin de seleccionar la mejor según los criterios desarrollados; en el caso de la telefonía rural, un método alternativo consiste en evaluar el servicio telefónico en términos de la disposición del usuario a pagar por el servicio. Esta consideración tiende a subestimar los beneficios mencionados anteriormente pero si su cuantificación justifica el proyecto, entonces se puede argumentar que los resultados son aún más favorables.

* INSTRUMENTACION

La función básica de esta etapa trata de formular de manera explícita los objetivos a lograr, así como las políticas y programas, tomando en cuenta la asignación de los recursos. Para la definición de metas y formulación de programas, los elementos de la planeación se deben establecer en forma jerárquica <4>. Es decir, la determinación de los ideales se obtiene a través de la planeación normativa; los objetivos a través de la planeación estratégica; las metas por la planeación táctica; los medios por la planeación operacional; y finalmente, la planeación de recursos administra los mismos a todos los niveles (Figura 5.3).

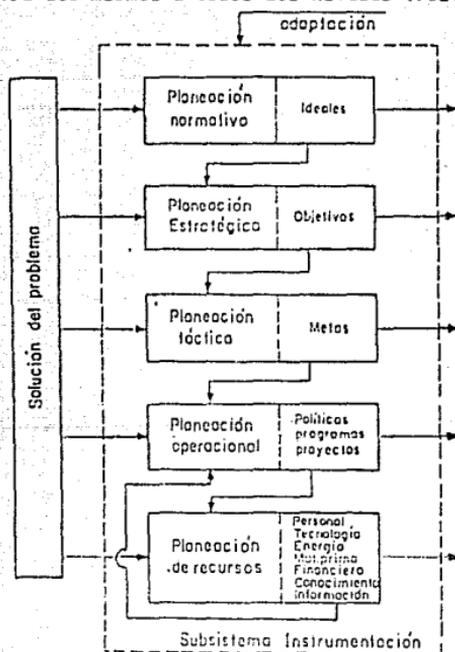


Figura 5.3

V.2.3) Control

Podemos definir la función de control como el procedimiento que permite prever o detectar los errores o fallas de un plan y la forma de prevenirlos o corregirlos sobre una base de continuidad. La función de control contempla las siguientes etapas (Figura 5.4) :

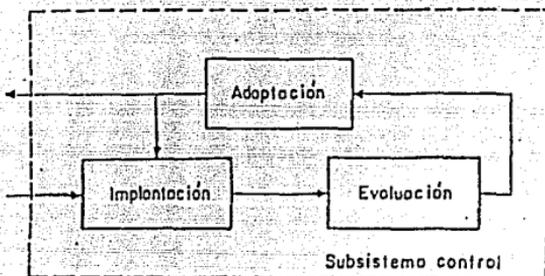


Figura 5.4

* **IMPLANTACION.** Se puede decir que el control de cualquier plan, programa o proyecto se inicia desde la misma implantación del mismo. Esta etapa constituye una actividad básica tanto del proceso de planeación como de la gestión de la empresa y consiste en la planeación de la ejecución de los programas.

En lo referente a una red celular, la implantación técnica está muy relacionada con el diseño que se haya hecho de la misma y con la naturaleza del equipo y del área de servicio. En forma más particular, una red celular vía-satélite en el ámbito rural puede considerar un

procedimiento de implantación en dos fases: la primera, considerando las comunicaciones locales exclusivamente; y la segunda, incorporando el servicio de larga distancia paulatinamente.

Nuevamente, en lo referente a los grupos de poder, el éxito de un plan propuesto depende de la afinidad que éste tenga con los objetivos del grupo en el poder y no tanto con los objetivos de la organización; por lo que es necesario establecer la situación del grupo planificador en la estructura de poder a fin de determinar las probabilidades de que una solución se logre implantar.

* EVALUACION DE RESULTADOS.

Esta etapa permite estimar la eficiencia de los planes en su consecución de metas y objetivos.

* ADAPTACION.

Esta etapa consiste en la realización de los ajustes y cambios de los procesos de planeación y conducción. Es esta etapa la que le da al proceso de planeación su carácter iterativo mediante la retroalimentación de información a los otros subsistemas.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas del presente trabajo; éstas pretenden apoyar la consideración de la tecnología celular en radiotelefonía a fin de satisfacer la demanda de servicio telefónico en el ámbito rural. Estas conclusiones exponen la potencialidad que tiene el concepto celular en el Área de las comunicaciones rurales, tanto en lo nacional como en lo internacional, y se orientan particularmente a aspectos de diseño y planeación de redes celulares y a los beneficios que ofrece la utilización del satélite.

VI.1) SOBRE EL CONCEPTO CELULAR EN EL AMBITO RURAL

Existe en la actualidad un porcentaje importante de comunidades del medio rural que carecen de servicios de comunicaciones adecuados a sus necesidades. Esto obstaculiza la integración de dichas comunidades al desarrollo nacional.

En el pasado, se ha satisfecho la demanda del servicio telefónico en las zonas rurales en base a una política de extensión del servicio telefónico urbano hacia esas zonas; esto ha ocasionado un desarrollo lento del servicio en esas áreas.

En relación a las comunidades con menos de 2,500 habitantes, la situación es más problemática ya que la mayoría se encuentran en zonas de difícil acceso. En estos casos, el empleo de la radiotelefonía representa la mejor opción.

El enorme éxito que ha tenido el concepto celular en los países desarrollados ha ocasionado que se extiendan sus áreas de servicio hacia el ámbito rural, buscando establecer un sistema telefónico con cobertura nacional. Para esto, el empleo del satélite es considerado como indispensable. Aunado a lo anterior, la gran posibilidad que ofrece la tecnología celular para personalizar el servicio telefónico ha ocasionado que se le considere como la base del servicio telefónico futuro; en este sentido, algunos países le han dado al servicio telefónico celular un carácter estratégico en el desarrollo de las comunicaciones nacionales.

Son dos las cualidades que dan a un sistema de comunicaciones el carácter de celular en un sentido estricto: la transferencia de llamadas (hand-off) y el reuso de frecuencias; la primera de estas cualidades lleva implícito el carácter móvil de las comunicaciones celulares. En este sentido, los sistemas que no presenten alguna de estas cualidades, pero que manejen el área de servicio en base a células, deben considerarse como cuasi-celulares. La instalación de sistemas cuasi-celulares en las áreas rurales y su posterior evolución hacia sistemas completamente celulares puede representar una opción interesante ante los elevados costos iniciales de estos sistemas, los cuales podrían no ser justificados en un principio por la demanda inicial calculada de servicio.

Aún cuando en esencia la naturaleza de las comunicaciones celulares es móvil, su flexibilidad permite sin problemas la atención a abonados fijos. Con esto, el concepto celular entra a competir con ventajas en el mercado que es tradicional de la telefonía convencional.

Por otra parte, el empleo de la tecnología celular en radiotelefonía, además de atender con creces la demanda del servicio telefónico básico en estas comunidades, permitirá ofrecer el servicio telefónico móvil en el ámbito carretero y ferroviario, lo cual abre nuevos mercados tanto en lo referente a las actividades gubernamentales (servicios de emergencia, administración de carreteras, etc.), como en la actividad empresarial (oferta del servicio a parques industriales, empresas transportistas, etc.).

Además, las zonas rurales se caracterizan por amplias extensiones de terreno con baja densidad de población; ofrecer el servicio telefónico en este ámbito resulta muy problemático, desde el punto de vista económico, si se utilizan tecnologías convencionales. Debido a esto, la amplísima cobertura que puede brindar el uso del satélite merece gran consideración en el ámbito rural.

Aunado a lo anterior, se puede afirmar que en la búsqueda de un servicio telefónico con cobertura nacional total, el uso del satélite jugará un papel complementario muy importante para los sistemas terrestres convencionales.

VI.2) SOBRE EL DISEÑO DE SISTEMAS CELULARES

El rápido crecimiento que se ha dado en los sistemas celulares ha producido un gran adelanto tecnológico en áreas como la microelectrónica, la teoría de propagación, la conmutación, la circuitería de radiofrecuencia, y el desarrollo de nuevas técnicas en el ámbito de las comunicaciones, sobre todo en cuestiones como el control de interferencias, la administración de frecuencias y la conmutación. Esto ha generado que los costos del ahora muy sofisticado equipo sean considerables: sin embargo, en un ambiente rural donde se espera un tráfico reducido, y considerando la flexibilidad del concepto celular, podemos pensar en evaluar un equipo menos sofisticado que cubra perfectamente los requerimientos particulares del área de servicio en cuestión.

El concepto celular surgió como una respuesta a la saturación de la capacidad de los sistemas radiotelefónicos convencionales que operaban en áreas urbanas densamente pobladas; en este sentido, el traslado correcto de los conceptos de diseño de un sistema celular al ámbito rural es de suma importancia para el éxito de cualquier proyecto de este tipo.

En lo referente al enlace celular, si consideramos lo bajo y uniforme que debe resultar el tráfico telefónico rural, la determinación del tamaño de la célula, así como la asignación de la banda de frecuencias a utilizar, son los parámetros con los que se debe iniciar el diseño y de los cuales dependerán los subsiguientes criterios.

Por otra parte, en lo que respecta al enlace satelital, el punto más importante a considerar es el óptimo uso del ancho de banda de transpondedor asignado al sistema; esto es debido a lo costoso que resulta este recurso. En este sentido, la evaluación de las técnicas de multiplexaje y de acceso múltiple involucradas en dicho enlace resulta ser de suma importancia a fin de elegir acertadamente la idónea.

Aunado a lo anterior, y en forma simultánea, se deben considerar las tendencias tecnológicas que se están dando a nivel internacional en las comunicaciones. Es particularmente importante tomar en cuenta los esfuerzos tendientes a la digitalización y al establecimiento de estándares internacionales; esto es debido a la necesidad de apoyar la toma de decisiones en cuanto a la adquisición de equipo compatible y con una vigencia tecnológica prolongada. De esta manera se evitarán enormes gastos en investigación y desarrollo y se podrá asegurar un buen mantenimiento del equipo.

VI.3) SOBRE LA PLANEACION DE SISTEMAS CELULARES.

En la actualidad, el hecho de considerar la planeación de un sistema de comunicaciones desde el punto de vista técnico exclusivamente es una limitación que puede resultar costosa. Por otra parte, en un mundo caracterizado por una creciente complejidad e interdependencia, las relaciones entre los diferentes sistemas y entre éstos y sus suprasistemas y medio ambiente respectivos tienen mucha influencia en la evolución de los mismos.

En lo referente a la telefonía rural en particular, y seguramente en algunas otras áreas, una empresa gubernamental y una empresa privada consideran enfoques muy diferentes; esto ocasiona que el establecimiento de metas y objetivos sea muy diferente en ambos casos, afectando de esta manera la búsqueda de soluciones y la toma de decisiones en el proceso de planeación.

Comparando el enfoque de la empresa pública y el de la empresa privada, y en lo que respecta al aspecto humano dentro de la organización, los conflictos de intereses y las estructuras de poder y de la organización presentan diferencias importantes. En el caso de la empresa pública y dentro del sistema político mexicano, el hecho de que la actividad productiva de los individuos se oriente en mayor medida a objetivos de grupo que a los objetivos de la organización hace de la actividad planificadora una tarea más difícil y obliga al grupo planificador a buscar posiciones de poder a fin de lograr el éxito de sus planes.

Como corolario podemos decir que, dadas su gran confiabilidad, calidad de servicio, capacidad, flexibilidad y óptimo uso del espectro, aunado al gran apoyo que ofrece el satélite, el concepto celular representa una alternativa sumamente calificada y económicamente atractiva para proporcionar servicios telefónicos en áreas rurales.

B I B L I O G R A F I A

C A P I T U L O I

- (1) Información de Teléfonos de México para el proyecto Plan de las Telecomunicaciones al año 2010", Anexo 3, p. 3
- (2) ibidem, pp. 1-2
- (3) ibidem, p. 8
- (4) Secretaría de Comunicaciones y Transportes
"Información actualizada de las redes de telecomunicaciones",
Documento Interno, apartado correspondiente a telefonía rural
- (5) KUHLMANN, Federico; ALONSO C., Antonio; MATEOS, Alfredo
"Comunicaciones: Pasado y Futuro", S.C.T., CONACYT,
Centro de Estudios Prospectivos, Fondo de Cultura Económica,
1989, capítulo 4, p. 94
- (6) Secretaría de Comunicaciones y Transportes
"Plan Nacional de Telefonía Rural", capítulo 2 pp.
36-39

CAPITULO II

- (1) GOMEZ P., Maida E.
"Diseño de Redes de Radio Móvil Celular aplicadas al Sector Eléctrico", Universidad Veracruzana, capítulo 3, 1984 pp. 51-53
- (2) NOVATEL COMMUNICATIONS.
Documento Técnico, Capítulo 1, 1986, pp. 8-10
- (3) *ibidem*, p. 8
- (4) *ibidem*, pp. 14-17
- (5) MASSON, T. D.
"Cellular Radio. A New Generator of Measurement Challenge".
Apuntes del Curso Técnico de la ITAME, Network Events Ltd.,
1984, pp. 17-18
- (6) PETERSEN, Philip C.
"IMTS: an attractive alternative to cellular", Telephony, pp.
30-36, Julio 1985
- (7) PETERSEN, Philip C.
"Cellular Systems: applications to Rural Markets", Telephony,
p. 34, Abril 1985
- (8) KIESLING, J. D.
"The United States Mobile Satellite Service", Resultados de
una Mesa de Trabajo de la Agencia Espacial Europea
sobre Servicios Terrestres Móviles por Satélite, pp.
05-08, Septiembre 1986
- (9) *op. cit.* NOVATEL COMMUNICATIONS, Capítulo 3
- (10) COOPER, George R.; NETTLETON, Ray V.
"Cellular Mobile Technology: The Great Multiplier", Spectrum,
pp. 92, Junio 1983
- (11) BLECHER, Franklin H.
"Advanced Mobile Phone Service", IEEE Transactions on
Vehicular Technology, pp. 238-244, Mayo 1980
- (12) EASTON, Anthony T.
"The Cellular Telephone Revolution: The Future of Personal
Communication", Telecommunications, pp. 80, Agosto 1987

- (13) PACHUTA, Roger
"Chicago's Cellular Firsts", Telephony, pp. 30-34, Julio 1985
- (14) EVERETT, Gloria
"L.A. Cellular Service: The largest system in the United States", Telephony, pp. 33-36, Marzo 1985 to 1985
- (15) MIKULSKY, James J.
"Dyna: TAC Cellular Portable Radiotelephone System Experience in the U.S. and the U.K.", IEEE Communications Magazine, p. 45, Febrero 1986
- (16) ibidem, p. 44
- (17) GILHOOLY, Denis
"Scandinavia installs Parallel NMT Network", Telecommunications, p. 64, Noviembre 1986
- (18) ibidem, p. 64
- (19) PEARCE, David
"Radiocom 2000: an advanced radiotelephone system", Telecom France, p. 23, Mayo 1986
- (20) ibidem, p. 23
- (21) SOULIÉ, Norbert
"Radiocom 2000: A step beyond pure cellular", Telecommunications, pp. 75.1-76.1, Octubre 1985
- (22) ibidem, p. 78.1
- (23) BOHM, Manfred
"Mobile Telephone for Everyone Through Digital Technology", Telecommunications, p. 68, Octubre 1985
- (24) KAMMERLANDER, Karl
"Cellular Technology drives on", Telephony, pp. 34-35, Agosto 1985
- (25) KURAMOTO, Minoru; SHINJI, Masaaki
"Second Generation Mobile Radiotelephone System in Japan", IEEE Communications Magazine, pp. 16-18, Febrero 1986

(26) op. cit., GILHOOLY, Denis

(27) ROCA CIF., José Miguel

"El estado actual de la radiotelefonía celular".

(28) TELECOMMUNICATIONS NEWS

Telecommunications, p. 20, Noviembre 1984

(29) MASON, Charles P.

"What comes after Cellular Radio?", Conferencia presentada durante el seminario titulado: Mobile Communications Developments and Regulations., Londres, Inglaterra, pp. 2-3, 1984

(30) ROGARD, R.

"A Land Mobile Satellite Systems for Digital Communications in Europe", Resultados de una Mesa de Trabajo de la Agencia Espacial Europea sobre Servicios Terrestres Móviles por Satélite, p. 125, Septiembre 1984

(31) GARDINER, John G.

"Satellite Services for Mobile Communications".

Telecommunications, pp. 35-36, Agosto 1984

(32) op. cit., MASON, Charles P.

C A P I T U L O I I I

- (1) BAJWA, A. S., PARBONS, J. D.
"Large area characterization of urban UHF multipath propagation and its relevance to the performance bounds of mobile radio systems", IEEE Proceedings, Abril 1985, p.100
- (2) GARCIA, L., JUAN A.
"Influencia de la lluvia en comunicaciones via-satélite (I)",
Mundo Electrónico, No. 172, 1987, p. 93
- (3) COOPER George R., NETTLETON Ray W.
"Cellular Mobile Technology: the great multiplier", Spectrum,
Junio 1983, p. 32
- (4) JAKES, William C.,
"Microwave Mobile Communications", John Wiley & Sons,
capítulo 4, 1974, p. 201
- (5) op. cit., COOPER George R., NETTLETON Ray W., p. 33
- (6) ibidem, pp. 33-34
- (7) ibidem, pp. 34-37
- (8) ibidem, pp. 34
- (9) KURANOTO, Minoru, SHINJI, Masaaki
"Second Generation Mobile Radio System in Japan", IEEE
Communications Magazine, Febrero 1986, p. 18
- (10) GOMEZ PONCE, Maida E.
"Diseño de Redes de Radio Móvil Celular aplicadas al Sector Eléctrico", Universidad Veracruzana, 1986, pp. 35-36
- (11) ibidem, p. 39

- (12) CIGRE Study Committee 35
"Draft Guide on Mobile Radio for the Electricity Utilities",
1985, pp. 13-39, 70-76
- (13) op. cit., JAKES, William C., p. 189
- (14) KAMMERLANDER, Karl
"Cellular Technology drives on", Telephony, Agosto 1985, p.
34
- (15) PACHUTA, Roger
"Chicago's Cellular Firsts", Telephony, Julio 1985, p. 31
- (16) op. cit., KAMMERLANDER Karl, p. 34
- (17) op. cit., PACHUTA Roger, p. 34
- (18) MIKULSKI, James J.
"Dyna TAC Cellular Portable Radiotelephone System: Experience
in the U.S. and U.K.", IEEE Communications Magazine, vol. 24,
no. 2, Febrero 1985, pp. 41-42
- (19) EVERETT, Gloria
"L.A. Cellular Service: the largest system in the U.S.",
Telephony, Marzo 1985, p. 34
- (20) op. cit., PACHUTA Roger, p. 31
- (21) Ibidem, pp. 33-34
- (22) op. cit., COOPER George R., NETTLETON Ray W., p. 31
- (23) op. cit., MIKULSKI James J., p. 41

(24) MIKULSKI, James J.

"A system plan for a 900 MHz portable radiotelephone", IEEE
Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-26, no. 1,
Febrero 1987, pp. 76-81

(25) NOVATEL COMMUNICATIONS

Documento Técnico, capítulo 1, 1986, p. 26

(26) PETERSEN, C. Philip

"Cellular Systems: applications to rural markets", Telephony,
Abril 1985, p. 40

CAPITULO IV

- (1) A H Q I E T
"Primer Seminario AHCIEET sobre Telefonía Móvil Celular".
INTEL (Panamá), ICI (España), capítulo 4, p. 114, abril 1987
- (2) ibidem, p. 115
- (3) ibidem, p. 72
- (4) PRITCHARD, Wilbur L.; SCIULLI, Joseph A.
"Satellite Communication Systems Engineering", Prentice Hall,
capítulo 6, 1980, p. 147
- (5) ibidem, p. 152
- (6) ibidem, capítulo 6, p. 244

C A P I T U L O V

- (1) BEER, Stafford
"Decisión y Control", Fondo de Cultura Económica, capítulo
16, 1982.
- (2) MATOS, Carlos
"Planificación de situaciones", Fondo de Cultura Económica,
capítulo 5, 1980, p. p. 126-128
- (3) Idem, p. 135
- (4) ACKOFF, R. L.
"Un concepto de planeación de empresas", Editorial Limusa,
1980.

A N E X O

Tabla 1.1 Capacidad de carga de las troncales basada en la fórmula B de Erlang, accesibilidad completa.

Troncales	Grado de servicio 1 en 1000		Grado de servicio 1 en 500		Grado de servicio 1 en 200		Grado de servicio 1 en 100		Grado de servicio 1 en 50		Grado de servicio 1 en 20	
	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU
1	0.04	0.001	0.07	0.002	0.2	0.005	0.4	0.01	0.7	0.02	1.8	0.05
2	1.8	0.05	2.5	0.07	4	0.11	5.4	0.15	7.9	0.22	14	0.38
3	6.8	0.19	9	0.25	13	0.35	17	0.46	22	0.60	32	0.90
4	16	0.44	19	0.53	25	0.70	31	0.87	39	1.09	55	1.52
5	27	0.76	32	0.90	41	1.15	49	1.36	60	1.66	80	2.22
6	41	1.15	48	1.33	58	1.62	69	1.91	82	2.28	107	2.96
7	57	1.58	65	1.80	78	2.16	90	2.50	106	2.94	135	3.74
8	74	2.05	83	2.31	98	2.73	113	3.13	131	3.65	163	4.54
9	92	2.56	103	2.85	120	3.33	136	3.78	156	4.34	193	5.37
10	111	3.09	123	3.43	143	3.96	161	4.46	183	5.08	224	6.22
11	131	3.65	145	4.02	166	4.61	186	5.16	210	5.84	255	7.08
12	152	4.23	167	4.64	190	5.24	212	5.88	234	6.62	286	7.95
13	174	4.83	190	5.27	215	5.96	238	6.61	267	7.41	318	8.83
14	196	5.45	213	5.92	240	6.66	265	7.35	295	8.20	350	9.73
15	219	6.08	237	6.58	266	7.38	292	8.11	324	9.01	383	10.65
16	242	6.72	261	7.26	292	8.10	319	8.87	354	9.83	415	11.54
17	266	7.38	286	7.95	318	8.83	347	9.65	384	10.66	449	12.46
18	290	8.05	311	8.64	345	9.58	376	10.44	411	11.49	482	13.38
19	314	8.72	337	9.35	372	10.33	404	11.23	444	12.33	515	14.31
20	339	9.41	363	10.07	399	11.09	433	12.05	474	13.18	549	15.25
21	364	10.11	388	10.79	427	11.86	462	12.84	505	14.04	583	16.19
22	389	10.81	415	11.53	455	12.63	491	13.65	536	14.90	617	17.13
23	415	11.52	442	12.27	483	13.42	521	14.47	567	15.76	651	18.08
24	441	12.24	468	13.01	511	14.20	550	15.29	599	16.63	685	19.03
25	467	12.97	495	13.76	540	15.00	580	16.12	630	17.50	720	19.99
26	495	13.70	523	14.52	569	15.80	611	16.96	662	18.38	754	20.94
27	520	14.44	550	15.28	598	16.60	641	17.80	693	19.26	788	21.90
28	546	15.18	578	16.05	627	17.41	671	18.64	725	20.15	823	22.87
29	573	15.93	606	16.83	656	18.22	702	19.49	757	21.04	858	23.83
30	600	16.68	634	17.61	685	19.03	732	20.34	789	21.93	893	24.80
31	628	17.44	662	18.39	715	19.85	763	21.19	822	22.83	928	25.77
32	655	18.20	690	19.18	744	20.68	794	22.05	854	23.73	963	26.75
33	683	18.97	719	19.97	774	21.51	825	22.91	887	24.63	998	27.72
34	711	19.74	747	20.76	804	22.34	856	23.77	919	25.52	1033	28.70
35	739	20.52	776	21.56	834	23.17	887	24.64	951	26.43	1068	29.68
36	767	21.30	805	22.36	864	24.01	918	25.51	984	27.34	1104	30.66
37	795	22.03	834	23.17	895	24.85	950	26.38	1017	28.25	1139	31.64
38	823	22.86	863	23.97	925	25.69	981	27.25	1050	29.17	1175	32.63
39	851	23.65	892	24.78	955	26.53	1013	28.13	1083	30.08	1210	33.61
40	880	24.44	922	25.60	986	27.38	1044	29.01	1116	31.00	1246	34.60
41	909	25.24	951	26.42	1016	28.23	1076	29.89	1149	31.92	1281	35.59
42	937	26.04	981	27.24	1047	29.08	1108	30.77	1182	32.84	1317	36.58
43	966	26.84	1010	28.05	1078	29.94	1140	31.66	1215	33.76	1353	37.57
44	995	27.64	1040	28.88	1109	30.80	1171	32.54	1248	34.68	1388	38.56
45	1024	28.45	1070	29.71	1140	31.66	1203	33.43	1282	35.61	1424	39.55
46	1053	29.26	1099	30.54	1171	32.52	1236	34.32	1315	36.55	1460	40.54
47	1083	30.07	1129	31.37	1202	33.38	1268	35.21	1349	37.46	1495	41.54
48	1111	30.88	1159	32.20	1233	34.25	1300	36.11	1382	38.39	1531	42.54
49	1141	31.69	1189	33.04	1264	35.11	1332	37.00	1415	39.32	1567	43.54
50	1170	32.51	1220	33.88	1295	35.98	1364	37.89	1449	40.25	1603	44.53

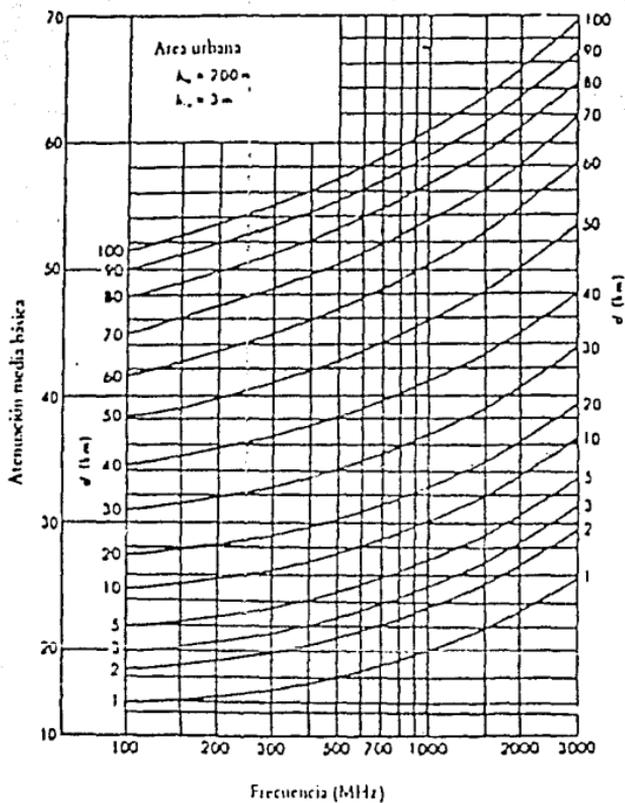
8 **Tabla 1.1** Continuación

Troncales	Grado de servicio 1 en 1000		Grado de servicio 1 en 500		Grado de servicio 1 en 200		Grado de servicio 1 en 100	
	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU
51	1281	35.53	1250	34.72	1327	36.85	1397	38.80
52	1229	34.15	1280	35.56	1358	37.72	1429	39.70
53	1259	34.98	1310	36.40	1390	38.60	1462	40.60
54	1289	35.80	1341	37.25	1421	39.47	1494	41.50
55	1319	36.63	1371	38.09	1453	40.35	1527	42.41
56	1349	37.46	1402	38.94	1484	41.23	1559	43.31
57	1378	38.29	1432	39.79	1516	42.11	1592	44.22
58	1408	39.12	1463	40.64	1548	42.99	1625	45.13
59	1438	39.96	1494	41.50	1579	43.87	1657	46.04
60	1468	40.79	1525	42.35	1611	44.76	1690	46.95
61	1498	41.63	1556	43.21	1643	45.64	1723	47.86
62	1529	42.47	1587	44.07	1675	46.53	1756	48.77
63	1559	43.31	1617	44.93	1707	47.42	1789	49.69
64	1590	44.16	1648	45.79	1739	48.31	1822	50.60
65	1620	45.00	1679	46.65	1771	49.20	1855	51.52
66	1650	45.84	1710	47.51	1803	50.09	1888	52.44
67	1681	46.69	1742	48.38	1835	50.98	1921	53.35
68	1711	47.54	1773	49.24	1867	51.87	1954	54.27
69	1742	48.39	1804	50.11	1899	52.77	1987	55.19
70	1773	49.24	1835	50.98	1932	53.66	2020	56.11
71	1803	50.09	1867	51.85	1964	54.56	2053	57.03
72	1834	50.94	1898	52.72	1996	55.45	2087	57.96
73	1865	51.80	1929	53.59	2029	56.35	2120	58.88
74	1895	52.65	1960	54.46	2061	57.25	2153	59.80
75	1926	53.51	1992	55.34	2093	58.15	2186	60.73
76	1957	54.37	2024	56.21	2126	59.05	2219	61.65
77	1988	55.23	2055	57.09	2159	59.96	2253	62.58
78	2019	56.09	2087	57.96	2191	60.86	2286	63.51
79	2050	56.95	2118	58.84	2223	61.76	2319	64.43
80	2081	57.81	2150	59.72	2256	62.67	2353	65.36
81	2112	58.67	2182	60.60	2289	63.57	2386	66.29
82	2143	59.54	2213	61.48	2321	64.48	2420	67.22
83	2174	60.40	2245	62.36	2354	65.38	2453	68.15
84	2206	61.27	2277	63.24	2388	66.29	2487	69.08
85	2237	62.14	2308	64.13	2419	67.20	2521	70.02
86	2268	63.00	2340	65.01	2452	68.11	2554	70.95
87	2299	63.87	2372	65.90	2485	69.02	2588	71.88
88	2330	64.74	2404	66.78	2517	69.93	2621	72.81
89	2362	65.61	2436	67.67	2550	70.84	2655	73.75
90	2393	66.48	2468	68.56	2583	71.76	2688	74.68
91	2425	67.36	2500	69.44	2616	72.67	2722	75.62
92	2456	68.23	2532	70.33	2650	73.58	2756	76.56
93	2488	69.10	2564	71.22	2682	74.49	2790	77.49
94	2519	69.98	2596	72.11	2715	75.41	2823	78.43
95	2551	70.85	2628	73.00	2748	76.32	2857	79.37
96	2582	71.73	2660	73.89	2781	77.24	2891	80.31
97	2614	72.61	2692	74.79	2814	78.16	2925	81.24
98	2645	73.49	2724	75.68	2847	79.07	2958	82.18
99	2677	74.36	2757	76.57	2880	79.99	2992	83.12
100	2709	75.24	2789	77.47	2913	80.91	3026	84.06

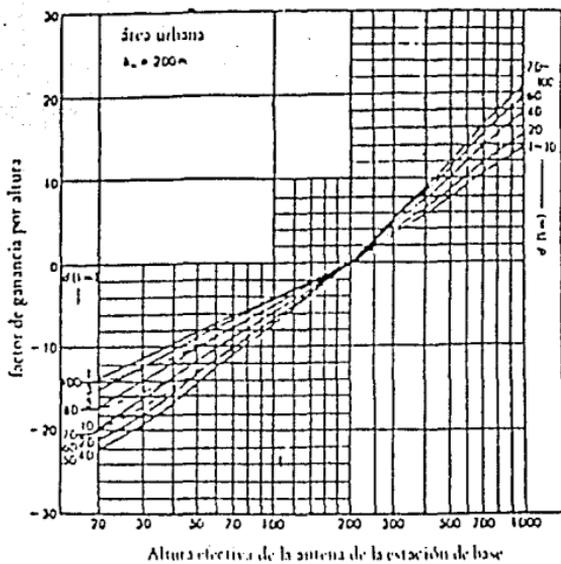
Tabla 1.1 Continuación

Troncales	Grado de servicio 1 en 1000		Grado de servicio 1 en 500		Grado de servicio 1 en 200		Grado de servicio 1 en 100	
	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU
101	2740	76.12	2821	78.36	2946	81.83	3060	85.00
102	2772	77.09	2853	79.26	2979	82.75	3094	85.95
103	2804	77.88	2886	80.16	3012	83.67	3128	86.89
104	2836	78.77	2918	81.05	3045	84.59	3162	87.83
105	2867	79.65	2950	81.95	3078	85.51	3196	88.77
106	2899	80.53	2983	82.85	3111	86.43	3230	89.72
107	2931	81.42	3015	83.75	3144	87.35	3264	90.66
108	2963	82.30	3047	84.65	3178	88.27	3298	91.60
109	2995	83.19	3080	85.55	3211	89.20	3332	92.55
110	3027	84.07	3112	86.45	3244	90.12	3366	93.49
111	3059	84.96	3145	87.35	3277	91.04	3400	94.44
112	3091	85.85	3177	88.25	3311	91.97	3434	95.38
113	3122	86.73	3209	89.15	3344	92.89	3468	96.33
114	3154	87.62	3242	90.06	3378	93.82	3502	97.28
115	3186	88.51	3275	90.96	3411	94.74	3536	98.22
116	3218	89.40	3307	91.86	3444	95.67	3570	99.17
117	3250	90.29	3340	92.77	3478	96.60	3604	100.12
118	3282	91.18	3372	93.67	3511	97.53	3639	101.07
119	3315	92.07	3405	94.58	3544	98.45	3673	102.02
120	3347	92.96	3437	95.48	3578	99.38	3707	102.96
121	3379	93.86	3470	96.39	3611	100.31	3741	103.91
122	3411	94.75	3503	97.30	3645	101.24	3775	104.86
123	3443	95.64	3535	98.20	3678	102.17	3809	105.81
124	3475	96.54	3568	99.11	3712	103.10	3843	106.76
125	3507	97.43	3601	100.02	3745	104.03	3878	107.71
126	3540	98.33	3633	100.93	3779	104.96	3912	108.66
127	3572	99.22	3666	101.84	3812	105.89	3946	109.62
128	3604	100.12	3699	102.75	3846	106.82	3981	110.57
129	3636	101.01	3732	103.66	3879	107.75	4015	111.52
130	3669	101.91	3765	104.57	3912	108.68	4049	112.47
131	3701	102.81	3797	105.48	3946	109.62	4083	113.42
132	3733	103.70	3830	106.39	3980	110.55	4118	114.38
133	3766	104.60	3863	107.30	4013	111.48	4152	115.33
134	3798	105.50	3896	108.22	4047	112.42	4186	116.28
135	3830	106.40	3929	109.13	4081	113.35	4221	117.24
136	3863	107.30	3961	110.04	4114	114.28	4255	118.19
137	3895	108.20	3994	110.95	4148	115.22	4289	119.14
138	3928	109.10	4027	111.87	4181	116.15	4324	120.10
139	3960	110.00	4060	112.78	4215	117.09	4358	121.05
140	3992	110.90	4093	113.70	4249	118.02	4392	122.01
141	4025	111.81	4126	114.61	4283	118.96	4427	122.96
142	4058	112.71	4159	115.53	4316	119.90	4461	123.92
143	4090	113.61	4192	116.44	4350	120.83	4496	124.88
144	4122	114.51	4225	117.36	4384	121.77	4530	125.83
145	4155	115.42	4258	118.28	4418	122.71	4564	126.79
146	4188	116.32	4291	119.19	4451	123.64	4599	127.74
147	4220	117.22	4324	120.11	4485	124.58	4633	128.70
148	4253	118.13	4357	121.03	4519	125.52	4668	129.66
149	4285	119.03	4390	121.95	4552	126.46	4702	130.62
150	4318	119.94	4423	122.86	4586	127.40	4737	131.58

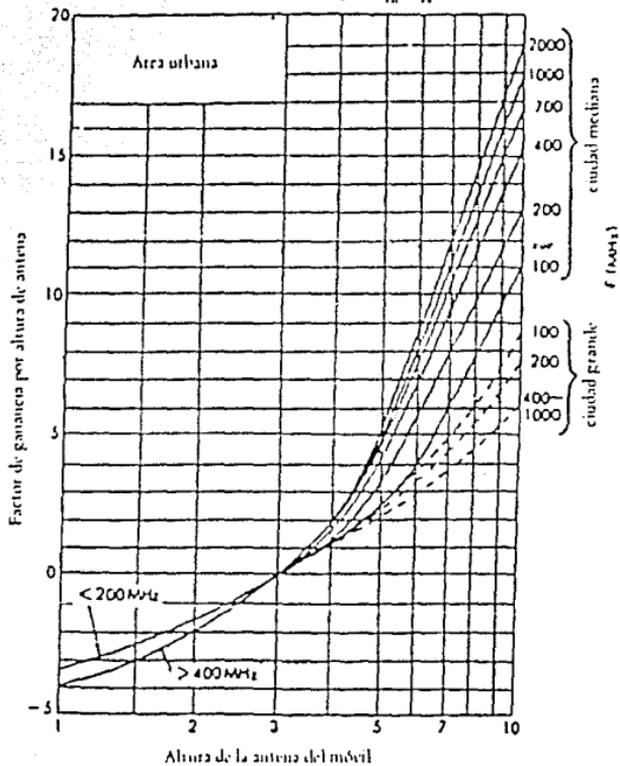
Curva de predicción de $A_{m_n}(f_1, d)$



Curva de corrección por $H_{10}(h_{10}, d)$



Curva de corrección por H_{ra} (h_{ra}, f)



— Por la orientación de las calles en áreas urbanas cuando hay muchas calles paralelas al trayecto de propagación (+ K_p dB)
 cuando hay muchas calles perpendiculares al trayecto (+ K_p dB)

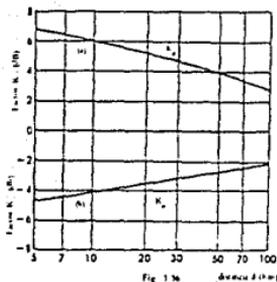
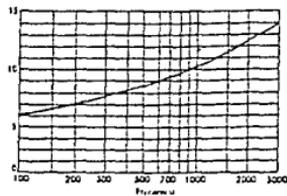


Fig. 1.36

— Por áreas suburbanas (+ K_{su} dB)



— Por áreas abiertas (+ Q_a dB para rural; + Q dB para medianamente rural)

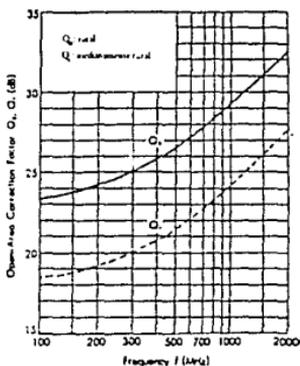
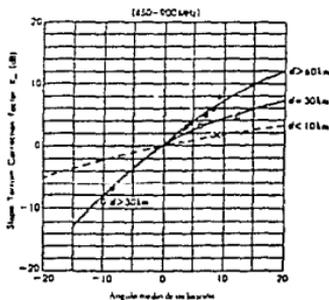


Fig. 1.38

— Por terreno inclinado (+ K_{ti} dB)

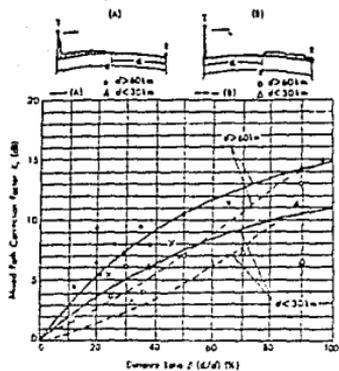
Definición del ángulo medio de inclinación del terreno



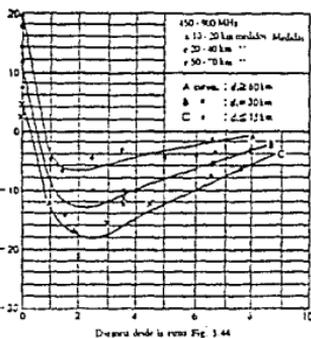
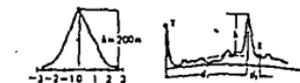
— Para trayectos mixtos tierra-mar (+ K_1 dB)

según los casos:

x para el caso en que el mar esté en el medio del trayecto de propagación.



— Para montes aislados (+ K_m dB)



— Para terreno montañoso (+ K_2 dB).

