



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
" A R A G O N "

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEFONIA MOVIL
CELULAR APLICADO AL SECTOR ELECTRICO

T E S I S
Que para obtener el Titulo de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
p r e s e n t a
MARTIN PORTILLO CONCHA

FALLA DE ~~AL~~



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

PAGINA

RECONOCIMIENTOS

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

GLOSARIO DE SIMBOLOS

INTRODUCCION

CAPITULO I

1.	ANTECEDENTES	1
1.1.	CONCEPTO DE CELULAR (AMPS.)	3
1.1.1.	REUTILIZACION DE FRECUENCIAS	3
1.1.2.	OPERACION DEL SISTEMA	4
1.1.3.	DIVISION CELULAR	6
1.1.4.	GEOMETRIA CELULAR	7
1.1.5.	ESTACIONES OMNIDIRECCIONALES Y DIRECCIONALES	9
1.1.6.	CARACTERISTICAS DE LA CELULA	10
1.1.6.1.	UBICACION DE LA ESTACION BASE	10
1.1.6.2.	RADIO MAXIMO	10
1.1.6.3.	RADIO MINIMO	11
1.1.6.4.	RAZON DE REUSO CO-CANAL	11
1.1.7.	ASIGNACION DE CANALES	12
1.2.	SISTEMAS CELULARES EXISTENTES	15
1.2.1.	CARACTERISTICAS DE CADA SISTEMA	15
1.2.1.1.	EL SISTEMA NORDICO N-IT	15
1.2.1.2.	EL SISTEMA INGLES TACS	17
1.2.1.3.	EL SISTEMA ALEMAN C-900	20
1.2.1.4.	EL SISTEMA FRANCES R-2000	20
	REFERENCIAS	22

CAPITULO II

2.	ANALISIS DE LAS NECESIDADES DE COMUNICACION DEL SECTOR ELECTRICO	23
2.1.	REQUERIMIENTOS DE COMUNICACION	24
2.2.	INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	26
2.3.	BASE DE DATOS	29
2.3.1.	BASE DE DATOS PARA EL SECTOR ELECTRICO	33
2.3.2.	FUNDAMENTOS DE BASES DE DATOS	33
2.3.2.1.	DATOS	33
2.3.2.2.	HARDWARE	34
2.3.2.3.	SOFTWARE	34
2.3.2.4.	TIPOS DE BASES DE DATOS	35
2.3.2.5.	BASE DE DATOS JERARQUICA	37
2.3.2.6.	BASE DE DATOS DE RED	38
2.3.2.7.	BASE DE DATOS RELACIONAL	38
2.3.2.8.	BASE DE DATOS SEUDORELACIONAL	39
2.3.2.9.	VENTAJAS DEL USO DE UNA BASE DE DATOS	41
2.3.3.	DISEÑO DE LA BASE DE DATOS	42
2.3.3.1.	MANEJADOR DE BASES DE DATOS	42
2.3.3.2.	DBASE	43
2.3.3.3.	ESTRUCTURACION	43
2.3.3.4.	PROGRAMACION	47
2.3.3.5.	FUNCIONAMIENTO Y ESTRUCTURA FINAL	48
	BIBLIOGRAFIA	52

CAPITULO IV

4.	DISEÑO DEL SISTEMA CELULAR	100
4.1.	DESCRIPCION DEL SISTEMA	101
4.2.	DISEÑO DEL SISTEMA	109
4.2.1.	CARACTERISTICAS DEL AREA A CUBRIR	109
4.2.2.	ESTUDIO DE TRAFICO GENERAL POR SECTORES	110
4.2.3.	RADIO DE LA CELULA	114
4.2.4.	UBICACION DE ESTACIONES BASES	116
4.2.5.	PROPAGACION	116
4.2.5.1.	CARACTERISTICAS DEL TERRENO	117
4.2.5.2.	PARAMETROS DE CALCULO	117
4.2.5.3.	PREDICION DE PERDIDAS	117
4.2.5.3.1.	METODO DE OKUMURA	118
4.2.5.3.2.	METODO DE HATA	119
4.2.5.3.3.	METODO DE LEE	119
	COMPARACION ENTRE METODOS	120
	CALIDAD DE LA SEÑAL	123
4.2.6.	ASIGNACION DE FRECUENCIAS	129
4.2.7.	INTERCONEXION CON LA RED PUBLICA	130
4.3.	OPERACION DEL SISTEMA	133
	REFERENCIAS	134

CAPITULO V

5.	ESPECIFICACION, MANTENIMIENTO Y COSTOS	135
5.1.	ESPECIFICACION DEL EQUIPO	136
5.1.1	EQUIPO DE TELEFONIA MOVIL	137

	PAGINA	
5.1.2.	ESPECIFICACIONES Y CARACTERISTICAS	139
5.2.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO	143
5.2.1.	CONCEPTOS BASICOS DE CONFIABILIDAD	144
5.2.2.	DISPONIBILIDAD E INDISPONIBILIDAD DEL SISTEMA DEBIDO A FALLAS	145
5.2.3.	NUMERO DE REPUESTOS	146
5.2.4.	MANTENIMIENTO	148
5.3.	EVALUACION ECONOMICA	149
5.3.1.	PROVEEDORES	150
5.3.2.	COSTOS	152
5.3.3.	ESTIMADO DE COSTOS DEL SISTEMA	154
5.3.4.	JERARQUIZACION DEL SECTOR ELECTRICO	156
	REFERENCIAS	159

CAPITULO VI

6.	CONCLUSIONES	160
	APENDICES	

LISTA DE TABLAS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1.1	CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS SISTEMAS CELULARES ACTUALES	21
2.1	NECESIDADES DE COMUNICACION DE LA D.D.J.	27
3.2	FORMULAS EXPERIMENTALES DE PREDICION DE PERDIDAS POR PROPAGACION BASALO EN OKUMURA	72
4.1	TABLA DE CRECIMIENTO Y CANALES REQUERIDOS	104
4.2	TABLA DE CRECIMIENTO Y CANALES REQUERIDOS	111
4.3	TABLA DE CRECIMIENTO Y CANALES REQUERIDOS DEL SECTOR ORIENTE	112
4.4	TABLA DE CRECIMIENTO Y CANALES REQUERIDOS DEL SECTOR JUAREZ	113
4.5	TABLA DE CRECIMIENTO Y CANALES REQUERIDOS DEL SECTOR HIDALGO	113
4.6	PARAMETROS DEL SISTEMA	129
4.7	ASIGNACION DE FRECUENCIAS	131
5.1	PRECIOS DE UNIDADES MOVILES (USD)	152
5.2	COSTOS DE CONSTRUCCION (USD)	153
5.3	COSTOS DE OPERACION (USD)	153

LISTA DE FIGURAS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1.1	INTERCONEXION CELULAR	5
1.2	ZONA DIVIDIDA	7
1.3	CELULAS ADYACENTES	8
1.4	ANTENAS DIRECCIONALES Y QUNIDIRECCIONALES	9
1.5	CARTA DE ASIGNACION DE FRECUENCIAS	13
1.6	SISTEMA CELULAR POR CADA PAIS	16
1.7	DISPOSICION DEL SISTEMA NMT	18
2.1	ZONAS DE LA D.D.J.	30
2.2	RED DE OPERACION ACTUAL	31
2.2	CONTROL SUPERVISORIO DE LA D.D.J.	32
2.4	BASE DE DATOS	36
2.5	BASE DE DATOS JERARQUICA	40
2.6	BASE DE DATOS DE RED	40
2.7	BASE DE DATOS RELACIONAL	41
2.8	ESTRUCTURA NORMALIZADA DE LA BASE DE DATOS	46
2.9	ESTRUCTURA FINAL DE LA BASE DE DATOS	51
3.1	FORMA DE LA SEÑAL	55
3.2	INTERVALO A CONSIDERAR PARA LA MEDIA LOCAL VERDADERA	58
3.3	DESVIACION ESTANDAR VS 2L	60
3.4	DESVIACION ESTANDAR DISPERSA VS 2L	61
3.5	CASO 1	62
3.6	CASO 2	63
3.7	CASO 3	63
3.8	CASO 4	64
3.9	RAYLEIGH NORMALIZADA	65
3.10	CURVA DE PREDICCION DE ATENUACION MEDIA PARA AREAS URBANAS	69

NUMERO	TITULO	PAGINA
3.11	CURVAS DE AJUSTE DE ALTURA DE ANTENAS PARA ESTACION BASE	70
3.12	CURVAS DE AJUSTE DE ALTURA DE ANTENAS PARA ESTACION MOVIL	70
3.13	CELULAS INTERFERENTES	80
3.14	DISTANCIAS CONSIDERADAS	81
3.15	CELULAS INTERFERENTES USANDO ANTENAS DIRECCIONALES	83
3.16	DISTANCIA MAS CRITICA	83
3.17	RAZON DE LADO CERCANO-LADO LEJANO	85
3.18	CURVA DE DESVANECIMIENTO	87
3.19	DIVISION CELULAR	89
3.20	ENLACE MOVIL-BASE-MTSO	93
3.21	FORMATO DE SEÑALIZACION	97
4.1	SINTESIS DE NECESIDADES DE TELECOMUNICACION CFE-DDJ	103
4.2	FORMA FINAL DEL AREA DIVIDIDA EN CELULAS	106
4.3	SISTEMA DIVIDIDO EN GRUPOS DE TRES	107
4.4	CONFIGURACION DEL SISTEMA	115
4.5	PERFIL TOPOGRAFICO GENERAL	126
4.6	PERFIL CERRO EL CUATRO-LAS FUENTES	127
4.7	PERFIL LAS FUENTES U.A.G.	128

GLOSARIO DE SIMBOLOS

A	Disponibilidad de un sistema
AM	Modulación en Amplitud
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
B	Ancho de banda del canal
CCAOC	Centro de Control de Area Occidente
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
dB	Decibel
DBMS	Data Base Management System
DDJ	División de Distribución Jalisco
E	Erlang
F	Frecuencia
FCC	Federal Communications Commission
FSK	Fase Shift Keying
GB	Ganancia de antena de la estación base
Gm	Ganancia de antena de la estación móvil
H	Altura del obstáculo (pag. 76)
HB	Altura de antena de la estación base
HBF	Factor de corrección de altura de antena base
HE	Altura efectiva de la antena transmisora (pag. 76)
HGA	Onda portadora por hilo de guarda aislado
HM	Altura de antena de la estación móvil
HMF	Factor de Corrección de altura de antena móvil
L	Intervalo de confianza
Lo	Pérdida en el espacio libre
Lm	Altura media
Lt	Pérdida total
m(t)	Desvanecimiento largo
Mhz	Megahertz
MTBF	Tiempo promedio entre fallas
MTSO	Mobile telephone switching office
MTTR	Tiempo promedio de reparación

N	Indisponibilidad de un sistema
NMT	Nordic Mobile Telephone System
No	Nivel de ruido
O.A.	Operación Area
OPLAT	Onda portadora por línea de alta tensión
OPLD	Onda portadora por hilo de distribución
OPSA	Onda portadora por subconductores aislados
PM	Modulación en fase
PR	Potencia de recepción
PRO	Potencia a 1 milla de distancia de la estación transmisora
PT	Potencia de transmisión
Q	Factor de reducción de interferencia co-canal
$r_o(t)$	Desvanecimiento corto
RGHBS	Región de generación hidroeléctrica Balsas Santiago
RTOC	Región de transmisión occidente
S	Número de repuestos
SAT	Tono de audio de supervisión
ST	Tono de señalización
STR	Swedish Telecom Radio
S/I	Relación señal a interferencia
S/N	Relación señal a radio
t	Tiempo promedio de llamada
T	Tráfico
TACS	Total Access Communication System
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
	Factor de corrección (método Lee)
	Pendiente de pérdidas por propagación
	Razón de falla

INTRODUCCION

Dado el grado de avance y la magnitud del Sector Eléctrico Nacional (SEN), así como las múltiples funciones que deben desempeñarse dentro del mismo (mantenimiento, operación, administración, etc.), requiere de un sistema de radiocomunicación rápido, eficiente y confiable que permita llevar a cabo en forma optima las actividades descritas anteriormente.

En la actualidad la comunicación dentro del SEN se lleva a cabo mediante cables, radio VHF y microondas. En particular la radio móvil se utiliza para mantener en contacto a las cuadrillas de trabajo con sus respectivas oficinas de despacho; consiguiendo con esto una mejor atención al cliente ya que el retiro de fallas es más eficiente.

En base a lo anterior se desprende la necesidad de contar con un sistema que además de mejorar el servicio con que se cuenta, provea al sistema de ventajas adicionales tales como: comunicación no solo regional sino global, transmisión de voz, transmisión de datos, interconexión con diferentes entes empresariales, etc. Lo que se reflejará en un mejor servicio al país, premisa básica para cualquier organismo prestador de servicios.

Objetivo: El objetivo de esta tesis consiste en diseñar un sistema de telefonía móvil celular aplicado al sector eléctrico, como una propuesta al problema de comunicación que recientemente reporta el SEN. Tal sistema deberá ser capaz de cubrir todas las necesidades de comunicaciones del sector eléctrico, así como soportar un crecimiento ordenado y sobre todo una interconexión entre sistemas así como a la red telefónica pública.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

Existen a lo largo de todo el mundo, sistemas de radiotelefonía móvil que dan servicio a un grupo reducido de usuarios, con tan solo 100 canales (por ejemplo) y algunas estaciones base. escogidas de tal forma que puedan cubrir la mayor cantidad de área posible. La capacidad de tales sistemas es muy limitada si consideramos que están sujetos al número de canales disponibles y al hecho de que no pueden usar nuevamente el mismo canal para comunicaciones simultaneas; a menos que sea a una distancia sumamente grande. Es decir, que si se pretende tener una mayor capacidad, en tales sistemas, necesariamente deberán contar con un número mayor de canales.

La necesidad de crear un sistema de radio telefonía móvil de alta capacidad con el menor número de canales posibles, dio por resultado a los sistemas de radio móvil celular.

Desde los años cuarentas, se ha venido avanzando en el diseño y optimización de los sistemas de radio móvil. En particular, el sistema celular tomó forma a raíz de la asignación de espectro hecha por la FCC para la red de radio móvil en 1974, de 800 Mhz a 900 Mhz con un ancho de banda de 40 Mhz. Esto, aunado a una serie de estudios hechos por los laboratorios Bell, dieron por resultado el Servicio de Telefonía Móvil Avanzada (Advanced Mobile Phone Service, AMPS) el cual es un sistema de radio telefonía móvil celular de alta capacidad.

Hablar de un sistema de radio móvil celular, implica hablar de zonas de cobertura pequeñas controladas cada una por su estación base, de tal manera que los canales en uso pueden ser usados nuevamente a distancias relativamente cortas. A este concepto se le llama "Reutilización de Frecuencias", el cual da lugar a dos términos nuevos en radio móvil:

- Interferencia co-canal e Interferencia de canal adyacente
- "Handoff"

El crecimiento de un sistema celular esta gobernado por el término "División o Partición de Células".

Estos nuevos conceptos de la Radio Móvil que resumen la característica fundamental del sistema celular y apoyandose en el sistema AMPS, serán

explicados con más detalle en las secciones siguientes.

1.1 CONCEPTO DE CELULAR [1] [2]

El primer indicio que se tiene del concepto de celular, data de 1947 en los laboratorios Bell por D.H. Ring que aunque no publicó su trabajo, se sabe que fue uno de los iniciadores del sistema celular.

En un sistema de radio comunicación móvil celular, el área de servicio se divide en zonas o regiones llamadas Células o Celdas, las cuales cuentan cada una con su propio equipo de recepción y transmisión de baja potencia, conocido como Estación Base.

1.1.1 Reutilización de Frecuencias

A cada célula atendida por su estación base (o estaciones base, dependiendo del tipo de cobertura), se le asigna cierto número de frecuencias (canales) diferentes al grupo de frecuencias de las células adyacentes. Esto permite reasignar los canales a una distancia tal que no exista interferencia audible para el usuario. Es decir, que habrá un momento en el que un canal estará siendo usado para más de una comunicación simultánea sin problemas de interferencia. De esta manera, en lugar de emplear un transmisor de alta potencia para cubrir una zona amplia, se utilizan transmisores de baja potencia para cada célula.

Una célula es pues, el área en la cual una estación base en particular, es la más adecuada para servir las llamadas originadas en esa área [3]; o bien, su área de cobertura es aquella en la cual un conjunto de canales en particular, es el adecuado para ser usado por las unidades móviles. Por lo tanto, en un sistema de radio telefonía celular, se puede atender un número considerablemente mayor de llamadas simultáneas, que el número de canales disponibles para la región en cuestión. La cantidad mayor dependerá principalmente del número de células (divisiones).

1.1.2 Operación del Sistema

Son tres las partes fundamentales de la red de comunicación celular (para este caso el AMPS), a saber:

- La oficina de conmutación de teléfono móvil (MTSO).
- Las estaciones base.
- Las unidades móviles.

La MTSO es la entidad encargada de controlar, coordinar y administrar la red celular. Además, es la interface entre la red fija y la móvil. Está conectada con cada estación base mediante un grupo de canales de voz y un grupo de canales de datos, los cuales sirven para intercambiar información necesaria para el procesamiento de las llamadas.

La Estación Base cuenta con conjuntos de equipos transceptores para dar servicio a cada unidad móvil. Aquí se procesan las señales recibidas de ambas redes (fija y móvil), con el propósito de contar con una transmisión compatible entre las redes (fija y móvil), con el propósito de contar con una transmisión compatible entre la unidad móvil y un suscriptor fijo. También, el proceso de señalización y control es manipulado desde la estación base.

La Unidad Móvil cuenta con una antena, un equipo transceptor, una unidad lógica y una unidad de control. El equipo de la unidad móvil puede sintonizarse a cualquiera de los canales disponibles en el sistema; la unidad lógica y la de control, llevan a cabo las funciones de control y señalización, mismos que se describirán con más detalle en el capítulo 3. La figura 1.1 muestra la disposición de un sistema celular típico y la interconexión de sus partes fundamentales.

Algunas de las frecuencias asignadas al sistema, son utilizadas como canales de inicio "Setup Channels". Estos canales mantienen un intercambio continuo de información que permite enlazar las llamadas. Normalmente, a cada estación base se le asigna un solo canal de inicio.

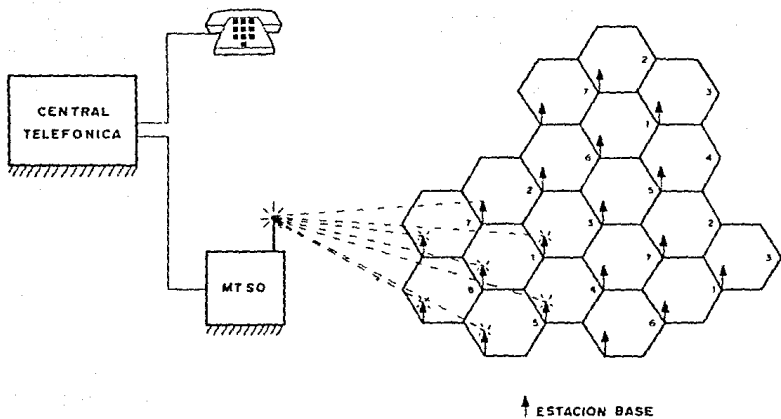


Figura 1.1: Interconexión Celular.

La estación base irradia el canal de inicio a toda su célula, por lo que las unidades móviles que circulan dentro de ésta zona se sintonizarán automáticamente con dicho canal, pues su nivel de señal deberá ser mayor que el de algún otro canal de inicio irradiado en otra célula.

Una vez que el móvil detecta que está siendo llamado, responde a la estación base y espera la asignación de un canal de voz libre. En el caso de una llamada originada en el móvil, el procedimiento es el mismo. En el capítulo 3 se dará mayor detalle.

Durante el desarrollo de una llamada, el sistema examina periódicamente el nivel de la señal, para que en caso de una disminución de nivel (cuando el móvil pasa de una célula a otra, p.e.) se reasigne a otra estación base y consecuentemente a otra frecuencia. Al monitoreo continuo se le llama Localización y al cambio automático de frecuencia se le llama "Handoff". Este proceso implica un reajuste desde la MTSO, pues se debe hacer un nuevo enlace entre el móvil y la parte fija (o móvil).

1.1.3 División celular

Una ventaja más de la distribución de canales en zonas pequeñas, es la mayor capacidad de tráfico. De tal manera que si un sistema necesita de una capacidad pequeña, puede ser dividido en células grandes y a medida que crezca el tráfico en alguna célula, ésta será dividida en células más pequeñas (partiendo de la distribución original), consiguiendo con esto una mayor distribución de canales y por lo tanto una capacidad mayor de manejo de llamadas.

Si el número total de canales C asignados para el servicio, es dividido en N grupos, entonces cada grupo¹ tendrá: $S = C/N$ canales.

La figura 1.2 muestra una zona dividida en 11 células en su estado original y debido a un aumento en el tráfico de llamadas de la zona sombreada, ésta se dividió en 4 células más pequeñas, consiguiendo con esto solucionar el problema. Una ventaja más para esta situación, es que una zona puede

¹Un grupo es un conjunto de células que operan en ciertas frecuencias

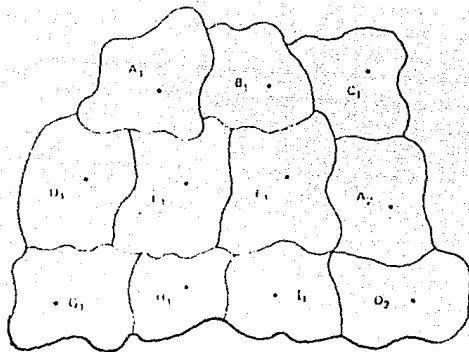


Figura 1.2: Zona dividida.

ser dividida en células de diferentes tamaños dependiendo de la demanda y así servir adecuadamente a cada región.

1.1.4 Geometría celular

La figura 1.2 muestra la división de una región en células que no tienen una forma regular geoméricamente hablando. Esto no sería un impedimento para el diseño, si la planeación original fuera a permanecer invariable, es decir que la densidad de tráfico fuese constante. Sin embargo, ya que todo diseño requiere de una optimización, ampliación o bien un reajuste general, se pretende que las células tengan una forma regular, para que el proceso de división celular pueda realizarse con la menor dificultad posible.

Dentro de las diferentes formas geométricas que puede adoptar una célula (círculo, triángulo, cuadrado, etc.), se demuestra que el hexágono es la figura que más ventajas le da al sistema celular. Aunque físicamente es imposible definir una área de cobertura que obedezca a una figura geométrica

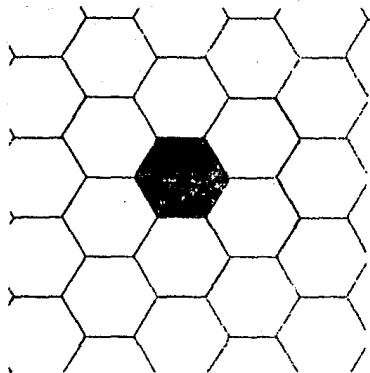


Figura 1.3: Células Adyacentes.

regular (debido a las características de propagación de las señales), el manejar el concepto de células hexagonales permite facilitar el diseño y se aproxima notoriamente al área real.

De la figura 1.3 se ve que al tomar una célula hexagonal, existen 6 células restantes adyacentes. A este conjunto de 7 células lo llamaremos Grupo ("Cluster").

La forma del grupo no siempre es la misma, ya que el número de células por grupo esta dado por: (1.1)

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (1.1)$$

donde i y j son números enteros.

Además, de un análisis geométrico:

$$R = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (1.2)$$

$$D = i^2 + ij + j^2 \quad (1.3)$$

donde:

R = Radio de la célula

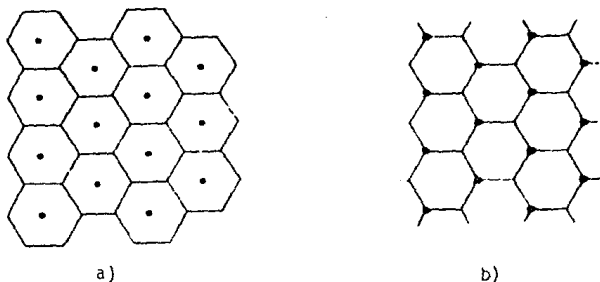


Figura 1.4: Antenas Direccionales y Omnidireccionales.

D = Distancia entre 2 células co-canales

De (1.1), (1.2) y (1.3) se deduce:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N} \quad (1.4)$$

Donde a D/R se le conoce como la razón de reuso co-canal.

La elección del número de células por grupo se toma en función de la interferencia co-canal.

1.1.5 Estaciones omnidireccionales y direccionales

La figura 1.4 nos muestra la disposición de una red celular servida con a) antenas omnidireccionales y b) antenas direccionales. El uso de antenas omnidireccionales es adecuado para sistemas de baja densidad de tráfico, ya que se puede cubrir una gran extensión de terreno con tan solo una estación

base. En sistemas avanzados, es necesario utilizar antenas direccionales de 120° y 60° (ver figura 1.4), pues además de suministrar la misma intensidad de señal que una antena omnidireccional dentro de su ángulo de acción, reduce la posible interferencia de los canales en uso fuera de su lóbulo principal.

Considerando la razón de reuso co-canal, los sistemas direccionales funcionan con una razón menor que los sistemas omnidireccionales, lo que implica distancias co-canales más cortas. De la ecuación (1.4), si D/R es menor, el número de células por grupo es menor y consecuentemente el grupo de canales asignados a cada grupo celular es menor. Como la asignación de canales es fija, se tienen más canales libres para cada grupo. Por lo que cada estación base podrá manejar una densidad de tráfico mayor o bien, se necesitaran menos estaciones para una densidad de tráfico dada.

1.1.6 Características de la célula

1.1.6.1 Ubicación de la estación base

La posición de la estación base dentro de cada célula, puede variar en $1/4$ de radio, a partir de su posición ideal. Fuera de este límite, la razón señal a interferencia (S/I) se degrada considerablemente. Este dato se basa en mediciones experimentales.

1.1.6.2 Radio máximo

La determinación del radio máximo de la célula, está supeditada a consideraciones económicas. El primer factor que se debe tener en cuenta es la potencia del transmisor. Los estudios fundamentados en al relación señal a ruido (S/N), las divisiones graduales que tendrá la red celular y su impacto económico, determinaron una potencia de 12 watts para la unidad móvil y 40 watts del transmisor de la estación base, como valores típicos. La altura y la ganancia de la antena en la estación base, juegan también un papel importante en el compromiso que existe entre el costo y la calidad

de transmisión. Sus valores obtenidos son: ganancia de 6 a 8 dB con una elevación de 30 a 60 mts.

Una vez fijadas las características de la antena, la determinación del radio máximo se obtuvo mediante un estudio experimental estadístico [4], el cual determinó que era necesaria una razón $S/N \geq 18$ dB, para contar con una buena calidad de señal a lo largo de toda el área en cuestión. Con base a estos parámetros y a una simulación realizada hecha por los laboratorios Bell, se concluyó que el radio celular máximo adecuado que cumple con una $S/N \geq 18$ dB es de 12.8 Kms aproximadamente para una ciudad típica. Este valor varía dependiendo del tipo de terreno, las variaciones en la ganancia y la altura de la antena, el ruido ambiental, etc.

1.1.6.3 Radio mínimo

El radio mínimo de una célula será el que se obtenga después de hacer la última división celular requerida.

Físicamente, no existe barrera alguna para continuar dividiendo la célula, sin embargo, el impedimento al que se enfrenta será la ubicación de la estación base (1/4 de la posición original) y el incremento de "handoffs".

Así se ha determinado un radio mínimo de 1.6 Kms. Con esto podríamos dividir 3 veces una célula con un radio original de 12.8 Kms. Si se reduce más el radio, el tiempo dedicado por el procesador central (MTSO) al manejo de handoffs, ocuparía gran parte de su capacidad.

1.1.6.4 Razón de reuso co-canal

La razón de reuso co-canal es un parámetro que afecta notoriamente la calidad de transmisión y la capacidad del sistema. Si se hace D/R muy pequeño, se consigue un bajo costo y una gran capacidad. Si se le considera de un valor grande, se obtiene una mejor calidad de transmisión.

Mediante una encuesta realizada a los usuarios del sistema, se concluyó que con una razón $S/I \geq 17$ dB, se tiene una excelente calidad de canal [4].

Por lo tanto, un sistema consigue una $S/I \geq 17$ dB cuando la separación entre canales iguales es de 4.6 veces el radio de la célula, si se emplean antenas direccionales de 120° y 6 veces el radio de la célula, si se emplean antenas omnidireccionales.

1.1.7 Asignación de canales

La asignación de canales en el sistema celular, deberá hacerse considerando los efectos de la interferencia co-canal y la interferencia de canal adyacente. La primera, se presenta cuando se usan canales de la misma frecuencia simultáneamente. Esto se previene, mediante una separación geográfica adecuada entre células co-canales. La segunda, es la interferencia entre canales adyacentes usados simultáneamente. Y además de controlarse mediante una buena separación geográfica, la característica de corte del filtro usado, juega un papel primordial en el grado de interferencia. Por lo tanto, el plan de asignación de frecuencias es crucial para el óptimo funcionamiento del sistema.

El sistema AMPS trabaja con un ancho de banda de 40 Mhz dividido en 666 canales duplex, con una separación entre canales de 30 Khz y una desviación pico de FM de 12 Khz. Con el objeto de contar con una separación en frecuencia de canales dentro de zonas cercanas, los 666 canales se han distribuido en lo que se conoce como carta de asignación de frecuencias (figura 1.5). En dicha carta se han agrupado los canales en 21 grupos: 32 canales para los primeros 15 y 31 para los 6 restantes. Para simplificar tal distribución, los 21 grupos se han dividido en 3 subgrupos de 7, llamándose A, B y C respectivamente. Apoyándose en esta agrupación para la asignación de canales, se garantiza que los efectos de interferencia entre canales serán despreciables.

El arreglo en cada célula se muestra en el centro de la figura 1.5.

Las posibles formas de arreglo para un sistema celular son:

- Grupo de 12 células con antenas omnidireccionales
- Grupo de 7 células con antenas direccionales de 120°

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88																	
106	107	108	109																	
127	128	129	130																	
148	149	150	151																	
169	170	171	172																	
190	191	192	193																	
211	212	213	214																	
232	233	234	235																	
253	254	255	256																	
274	275	276	277																	
295	296	297	298																	
316	317	318	319																	
337	338	339	34																	
358	359	360	361																	
379	380	381	382																	
400	401	402	403																	
421	422	423	424																	
442	443	444	445																	
463	464	465	466																	
484	485	486	487																	
505	506	507	508																	
526	527	528	529																	
547	548	549	550																	
568	569	570	571																	
589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	621	622	623	624	625	626	607	608	609
610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	628	630
631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651
652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666						

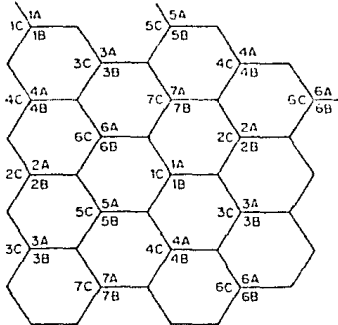


Figura 1.5: Carta de Asignación de Frecuencias.

- Grupo de 4 células con antenas direccionales de 60°

El primer patrón se prefiere cuando el sistema está en inicio y la demanda de tráfico no es excesiva. El patrón de 7 células por grupo se adopta en sistemas avanzados. La disposición y geometría de este patrón, permite realizar fácilmente la división celular. El de 4 células por grupo es menos usado, debido a que la extrema división de la celda ocasiona una alta repetición de "handoffs".

La división celular, que es la base del crecimiento de un sistema celular, se lleva a cabo cuando la capacidad de tráfico existente es insuficiente para la operación óptima del sistema. Una vez que se ha determinado la zona que se debe dividir, la nueva estación base deberá ubicarse a distancias iguales de las dos células co-canales. El grupo de canales que usará esta nueva estación base, serán los mismos que las células co-canales mencionadas. Es decir, si se ubica entre dos celdas que usan el canal 1 p.e., el canal asignado a la estación base será el 1. A partir de la asignación de éste canal, se reasignarán los demás canales a la célula dividida.

Así mismo al hacer una partición de células, se obtienen células de diferentes tamaños en un mismo sistema, por lo que se deberá tener especial cuidado con las frecuencias que se manejan ya que la diferencia de radios puede ocasionar interferencias entre células. La forma de evitar esto, es utilizar el concepto de células superpuestas; el cual consiste en considerar el sistema como una superposición de células fragmentadas sobre el arreglo original completo. Esto implica considerar una división de canales en la región donde existan diferentes tamaños de células. Cada lado de la célula original (ahora partida), seguirá cubriendo la misma zona con una parte de sus canales y los canales restantes cubrirán la zona pequeña (recién creada). Con esto se consigue una operación libre de interferencias mientras el tamaño de las células sea diferente.

Todas estas características que describen en forma sucinta el funcionamiento y la arquitectura del sistema celular permiten contar con una red de comunicaciones móviles de alta capacidad.

1.2 SISTEMAS CELULARES EXISTENTES

Las principales ciudades del mundo cuentan actualmente con sistemas celulares para satisfacer sus necesidades de comunicación móvil. Estos sistemas además de hacer un uso eficiente del espectro asignado, permite a nivel usuario incrementar su productividad.

A pesar de que el principio de funcionamiento de cada sistema celular es en esencia el mismo, cada país que cuenta con una red celular ha adaptado el sistema de acuerdo a las necesidades particulares que se tengan. Por lo tanto, existen en la actualidad más de diez tipos diferentes de sistemas celulares.

En la figura 1.6 se muestra un mapa donde se indica el sistema celular empleado por cada país.

1.2.1 Características de cada sistema

Dentro de la extensa variedad de sistemas celulares, a continuación se describen en forma resumida los más importantes y de mayor difusión en el mundo, aparte del AMPS descrito anteriormente. Cabe hacer notar que la diferencia substancial entre cada uno de ellos, estriba en la señalización y el rango de frecuencias utilizadas.

En la tabla 1.1 que aparece al final de éste capítulo, se muestran las características técnicas de cada sistema, y se puede utilizar como patrón de comparación.

1.2.1.1 El Sistema Nórdico [5]

El sistema NMT (Nordic Mobile Telephone System) es seguramente el sistema de mayor aceptación a nivel mundial tal y como se puede apreciar en la figura 1.6. Su lanzamiento data de 1981 en Suecia por la STR (Swedish Telecom Radio), abarcando a principios de 1982 todos los países Nórdicos a excepción de Islandia. El sistema fue diseñado completamente en suecia

SISTEMA NMT:	NORUEGA SUECIA FINLANDIA ESPAÑA TURQUIA TUNEZ AUSTRIA DINAMARCA SUIZA CHINA TAILANDIA MALASIA INDONESIA ARABIA SAUDITA
SISTEMA AMPS:	ALASKA CANADA ESTADOS UNIDOS KOREA AUSTRALIA
SISTEMA TACS:	REINO UNIDO IRLANDIA
SISTEMA R-2000:	FRANCIA
SISTEMA NAMTS:	JAPON
SISTEMA NETZ-C:	ALEMANIA

Figura 1.6: Sistema Celular por cada País.

por la STR; tomando alrededor de 40 años su desarrollo desde la red de despacho local, hasta la red celular internacional de nuestros días.

A pesar de que en un principio estaba contemplado el uso de hexágonos como forma geométrica de la red celular, el crecimiento vertiginoso que sufrió el sistema, obligó a los diseñadores a abandonar las redes hexagonales originales. La intensidad de tráfico en Suecia está más acentuada (más del 50%) en el centro de su capital, de ahí que la distribución del tráfico a lo largo del país es irregular. La STR encontró dificultades para hacer crecer la red hexagonal paralelamente al crecimiento del tráfico, por lo que adoptaron un sistema de célula pequeña.

Este sistema consiste en agrupar las estaciones base en forma de anillos concéntricos, dirigiendo el patrón de radiación de las antenas hacia afuera del punto central (ver figura 1.7). La distancia entre cada anillo varía de acuerdo a la intensidad del tráfico, el número de canales disponibles y las estadísticas del movimiento de los usuarios.

Las frecuencias disponibles por anillo se dividen en seis grupos, por lo que se necesitarán seis antenas transmisoras, pudiéndose reutilizar las frecuencias en cada anillo, debido a la distancia que las separa. Con el fin de nulificar por completo una posible interferencia, cada grupo de canales en reuso se defasa 120° de anillo a anillo, además que se utilizan antenas logarítmico periódicas con una relación frente-atrás de 25 dB. El sistema NMT opera con una velocidad de transmisión de datos a 1200 bits/segundo en FSK con un código convolucional (Hagelbarger) corrector de errores. Se ubica en la banda de los 450 Mhz. con 180 canales. Para mayores detalles ver la tabla 1.1.

1.2.1.2 El Sistema Inglés [6]

El sistema celular empleado en Gran Bretaña conocido como TACS (Total Access Communication System), tiene un principio de funcionamiento similar al sistema desarrollado en E.U. por los laboratorios Bell², aunque

²De hecho su diseño fue basado en las características del AMPS de E.U.

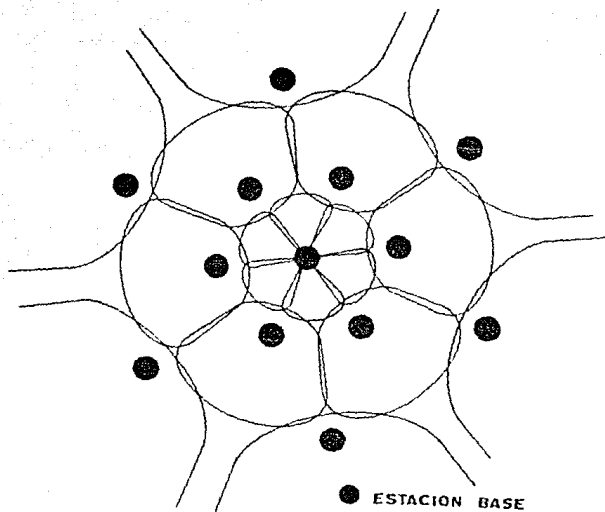


Figura 1.7: Disposición del Sistema NMT.

El sistema TACS dispone de 1000 canales en la banda de UHF (900 Mhz) con un espaciamiento entre canales de 25 KHz.

1.2.1.3 El Sistema Alemán [7]

El sistema C, que es como se le conoce al sistema Alemán, opera con 222 pares de canales en la banda de 450 Mhz. La separación entre canales es de 20 KHz y de 10 Mhz entre los canales de transmisión y recepción. Todas las estaciones base del sistema están conectadas mediante líneas de transmisión de datos, a una central de conmutación de teléfono móvil (MSC).

El acceso de un suscriptor fijo a un móvil es de fácil realización, debido a la existencia de una base de datos en constante actualización que tiene registrados a todos los suscriptores, así como a la central de conmutación a la que pertenecen. De tal manera que cuando un móvil enciende su equipo, mediante la base de datos se verifica si pertenece a la central de conmutación que controla el área donde se encuentra. Si no es así, mediante su registro localiza la central a la que pertenece. Este sistema facilita el enlace entre 2 usuarios, ya que se conoce la ubicación actual de los suscriptores.

El proceso de señalización y control se lleva a cabo a una velocidad de 5.28 Kbits/segundo. El móvil envía un mensaje a la estación base más adecuada según su posición, y si recibe respuesta por parte de la estación base, significa que al momento de recibir o solicitar una llamada se realizará sin ningún problema. Mientras tanto, la estación base y el móvil se monitorean para determinar un posible cambio de estación base. Este monitoreo se lleva a cabo insertando en los canales de voz, mensajes de datos de 184 bits en grupos de 4, cada 12.5 milisegundos de voz.

1.2.1.4 El sistema Francés [8]

En 1986 se puso en marcha el sistema de radiotelefonía móvil celular Francés R-2000, el cual además de prestar servicios radiotelefónicos, está encaminado a servir a redes privadas empresariales. El R-2000 tiene asig-

Tabla 1.1: Características Técnicas de los sistemas celulares actuales

SISTEMAS CELULARES					
	AMPS	NMT	TACS	C	R2000
Frecuencia de transmisión Estación base	870-890 Mhz.	463-468 Mhz.	935-960 Mhz. 935-950 Mhz.	451-456 Mhz.	202.7-205.087 Mhz. 424.8-427.987 Mhz.
Frecuencia de recepción Estación base	825-845 Mhz.	453-450 Mhz.	890-915 Mhz. 890-905 Mhz.		194.7-197.0875 Mhz. 414.8-417.9875 Mhz.
Separación de canales	30 Khz.	25 Khz.	25 Khz.	20 Khz.	
Número de canales	666	200	1000	222	192-256
modulación	FM	FM	FM	FM	FM
Código empleado	BCH (48,36) BCH (40,28)	Convencional	BCH		Convencional
Velocidad de señalización	10 Kb/s	1200 b/s	8 Kb/s	5.28 Kb/s	1200 b/s
Formato de señalización	FSK	FFSK	FSK	FFSK	FFSK
Potencia del Transceptor	0.6 a 4 W.	15 W.	0.6 a 1 W.	0.1 a 25 W.	1 a 2 W.

nadas 2 bandas de operación: una con 192 canales en VHF y otra con 256 canales en UHF.

Sus canales de operación se dividen en dos: canales de acceso y canales de comunicación.

Una de las características notables de éste sistema es que no requiere de un centro de conmutación; pues cuenta con asignación dinámica a base de relevadores autónomos. Cada relevador cubre un radio de 10 a 30 Km. y su función es enlazar al móvil con la estación base, asignando el canal adecuado. Esta asignación se hace por medio de los canales de acceso, los cuales llevan entre otras cosas, los números de identificación de los dos puntos a enlazar. Una vez enlazados los dos usuarios, la transmisión de voz se realiza mediante los canales de comunicación.

REFERENCIAS

1. "The Cellular Concept" V.H. MacDonald The Bell System Technical Journal Vol. 58 No. 1 January 1979
2. "Advanced Mobile Phone Service" F.H. Blecher I.E.E.E. Transactions on Veh. Technology Vol. VT-24 May 1980
3. "La Telefonía Celular sus Principios y sus Aplicaciones" Ing. Carlos A. Reboloso Ramirez Teléfonos de México
4. "The Cellular Test Bed" G.C. DiPiazza, A. Plitkins and G.I. Zysman The Bell System Technical Journal Vol. 58 No. 1 January 1979
5. "NMT: The End of the Beginning" Bo Magnusson. STR Global Communications Magazine Third Quarter 1985
6. "Defintion of a Cellular Mobile Radio System" C.J. Hughes and M.S. Appleby IEE Proceedings Vol. 132 No.5 August 1985
7. "The German Cellular Radio Telephone System C" Klaus Spindler IEEE Communications Magazine Vol. 24 No. 2 February 1986
8. "La Telephonie Cellulaire" Jean-Claude Barré TLE Juin 1986

Capítulo 2

ANALISIS DE LAS NECESIDADES DE COMUNICACION DEL SECTOR ELECTRICO

En México como en todos los países que cuentan con una infraestructura industrial extensa, el consumo de energía eléctrica se incrementa anualmente a tasas de crecimiento considerablemente altas.

Esto ocasiona el tendido de grandes redes eléctricas de potencia, cuya finalidad es: transportar la energía de los centros de generación a los centros de distribución e interconectar las subestaciones y plantas de todo el país.

La operación de vastas redes de energía requiere de sistemas de telecomunicaciones confiables que proporcionen señales de control, protección y telemedición. Así como canales de voz para la operación y administración de la red.

2.1 REQUERIMIENTOS DE COMUNICACION

La importancia de un sistema de comunicaciones óptimo en el sector eléctrico, puede entenderse si se trata de imaginar el funcionamiento de la red, sin un sistema capaz de recoger la información sobre el estado de las estaciones en lugares remotos y procesar esta información para derivar después acciones tendientes a la corrección de algún malfuncionamiento detectado.

De modo que el principal objetivo de una red de comunicaciones en el sector eléctrico, es la coordinación de las áreas de potencia, las obras en construcción y los procesos administrativos.

En nuestro país, el sistema eléctrico nacional (Comisión Federal de Electricidad, CFE) está formado por seis regiones de operación (Norte, Noroeste, Occidental, Noreste, Oriental y Central), además de dos sistemas aislados (Baja California y Peninsular)

La operación y control de la red es coordinada desde la ciudad de México por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

El control de dicha red se ha logrado mediante la creación de un sistema automatizado, que a su vez deberá estar apoyado en una red de comunicaciones que permita el intercambio de información en forma óptima.

La red de comunicaciones deberá satisfacer las siguientes necesidades:

- Transmisión de datos a alta velocidad, para supervisión y control.
- Conducción de señales de teleprotección.
- Transmisión de datos entre computadoras y terminales remotas.
- Radio móvil VHF (Operación del sistema y coordinación de maniobras por medio de voz).
- Telefonía (Operación de subestaciones y plantas por medio de voz).

En la actualidad se utilizan diversos medios de transmisión en las redes eléctricas, dependiendo de las necesidades que se tengan (canales, confiabilidad, economía, legales, etc.). Los sistemas usados son:

- Onda portadora por línea de alta tensión (OPLAT)
 - * Onda portadora por hilo de guarda aislado (HGA)
- Cable aéreo
- Onda portadora por subconductores aislados (OPSA, a corto plazo)
- Onda portadora por hilo de distribución (OPLD, a corto plazo)
- Radio.
 - * VHF
 - * UHF
 - * Microondas
- Líneas telefónicas.
- Fibras ópticas.

Cada región de operación del sistema eléctrico nacional, cuenta con una red local de radio cuya función es mantener en comunicación las zonas, centros de distribución, agencias, subagencias, subestaciones y plantas, además de los móviles (cuadrillas) que operan dentro de esta área.

A su vez, las regiones están enlazadas unas a otras via la red de microondas; permitiendo con esto una interconexión nacional.

El presente trabajo se encamina al diseño de una red telefónica móvil celular, para la División de Distribución Jalisco (DDJ) de la región occidental de la red de potencia nacional, a partir de la red de radio actualmente en uso.

Dado que las dimensiones del área a cubrir son amplias y las características del terreno son muy irregulares, los problemas a los que se enfrenta dicha red son, entre otros:

- Interferencias entre usuarios
- Sobrealcances
- Intermodulaciones
- Zonas de silencio
- Mal funcionamiento de equipo
- Cobertura insuficiente
- Deficiente calidad de recepción

Y debido a que la red de radio opera en la banda de VHF, se tiene un fuerte problema con la saturación de la banda.

La tabla 2.1 muestra en forma condensada las necesidades de la DDJ de acuerdo a las dependencias y sus funciones que realizan.

2.2 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

La División de Distribución Jalisco (DDJ), perteneciente a la Región de Transmisión occidente (RTOC), está dividida en 10 zonas que abarcan,

Tabla 2.1: Necesidades de comunicación de la D.D.J.

DEPENDENCIA	FUNCIONES	NECESIDADES DE COMUNICACION			FACILIDADES	CONDICIONES ACTUALES (SERVICIO)	
		COMUNICACION CON	VOZ	DATOS			
Agencia o Sub-agencia	Facturación	Zona otras Agencias	Otra		Telmax, Radio	Cobertura Limitada	
	Mantenimiento Conexiones Futuras a 10 años	Cuadrilla Cuadrilla Zona	100% Otra	Otra	Radio Radio Radio		
	Mto. consumidores Atención quejas	Cuadrillas Público					
	Oficinas de Operación Guad. Oficina de Zona	Atención quejas Mto. Correct. Comercialización	Público Agencia División	100% Otra	Futuro	Radio	Congestión Guadalajara
		Mantenimiento O distribución De 23 a 115 Kv 161 Guad.	Cuadrillas de Operación	100%		Telmax Radio	Cobertura Limitada
		Administrativo Voz Administrativa	Agencia División 100%	Otra Futuro	Futuro	Telmax	
División	Voz Administrativa servicios legales	Agencias y sectores Zonas México otras Divisiones	100% Otra	100% Futuro	Telmax Radio Telex Otras		
	Operación Area	Coordinación 161 Kv 89 Kv	Subarea occ. Zonas Cuadrillas	100%	Futuro	Radio Telex Futuro	Cobertura Congestionamiento

2 estados de la República Mexicana (Jalisco y Nayarit). La figura 2.1 muestra los límites geográficos de cada zona, así como algunos puntos de interés. Dichas zonas son:

- Zona Santiago
- Zona Vallarta
- Zona Tepic
- Zona Minas
- Zona Costa
- Zona Guadalajara
- Zona Chapala
- Zona Zapotlán
- Zona Ciénega
- Zona Los Altos

Estas 10 zonas cuentan con una red de radio VHF, teniendo su control central en la Ciudad de Guadalajara con el nombre de Operación Área (O.A.) Guadalajara. A su vez, O.A. Guadalajara mantiene comunicación vía telefónica con 4 centros de control más; mismos que forman los puntos medulares de la DDJ (DDJ, RTOC, CCAOC y RGHBS), donde los últimos corresponden al Centro de Control de Área Occidente y a la Región de Generación Hidroeléctrica Balsas-Santiago, respectivamente.

La interconexión de estos centros con la red general se muestra en la figura 2.2. En esta figura se señala el enrutamiento que siguen los enlaces entre zonas y su asignación de frecuencias. Por ejemplo, una llamada originada en O.A. Guadalajara, que pretenda comunicarse con un móvil que se encuentre en operación en Puerto Vallarta (Zona Vallarta), sigue la siguiente trayectoria: la llamada mediante un canal específico, se envía al repetidor ubicado en el Volcan de Tequila (RF₄), para después retransmitirse al repetidor en cerro alto utilizando un canal diferente (enlace F₉). Finalmente desde el cerro alto se irradia a toda la Zona Vallarta hasta obtener respuesta del móvil buscado. Cabe hacer notar que cada zona opera en

forma independiente y se comunica directamente con O.A., por lo que no se requiere de comunicación entre zonas. Además, RTOC, CCAOC y RGHS mantienen comunicación con: subestaciones de transmisión, cuadrillas de subtransmisión y plantas hidroeléctricas, respectivamente.

Basicamente la red en uso de la DDJ, tiene dos clases de canales: voz y datos. El canal de datos es utilizado para control supervisorio, su configuración se muestra en la figura 2.3.

En cuanto al orden jerarquico que la DDJ da a las comunicaciones es el siguiente:

1. Control supervisorio
2. Voz operacional
3. Voz administrativa

2.3 BASE DE DATOS

Desde tiempos remotos la humanidad ha tenido necesidad de almacenar información, que es susceptible a modificaciones continuas. En un principio el procedimiento empleado iba desde llevar el control con simples piedras, hasta utilizar formas de registro en varas, barro y papel.

Hasta hace unos años, la forma más común de registrar eventos específicos era mediante escritos en papel, formando archivos inmensos de información. Por lo que se han desarrollado nuevos métodos de almacenamiento de datos (básicamente computacionales), que facilitan su manipulación. De la misma manera, han aparecido gradualmente dispositivos capaces de procesar estos datos; desde la máquina sumadora de Pascal (1640), hasta las computadoras de nuestros días.

Un aspecto crucial que ya ha sido necesario empezar a resolver, es el manejo de enormes volúmenes de datos, cuya aparición es inherente al desarrollo tecnológico de hoy en día. Los dispositivos para almacenar los datos (tarjetas perforadas, cintas magnéticas, tambores magnéticos, tarjetas

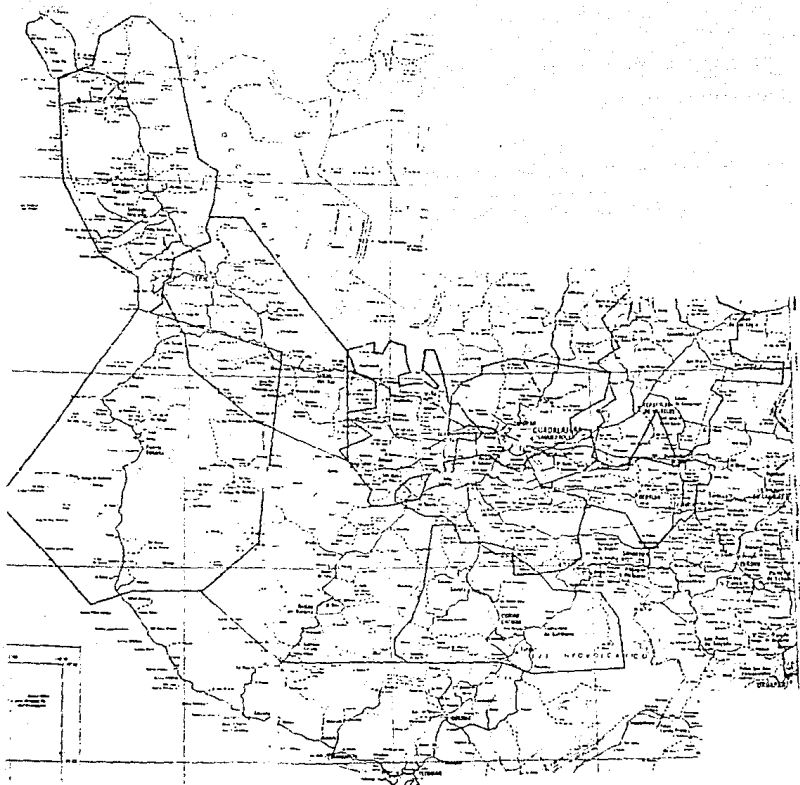


Figura 2.1: Zonas de la DDJ.

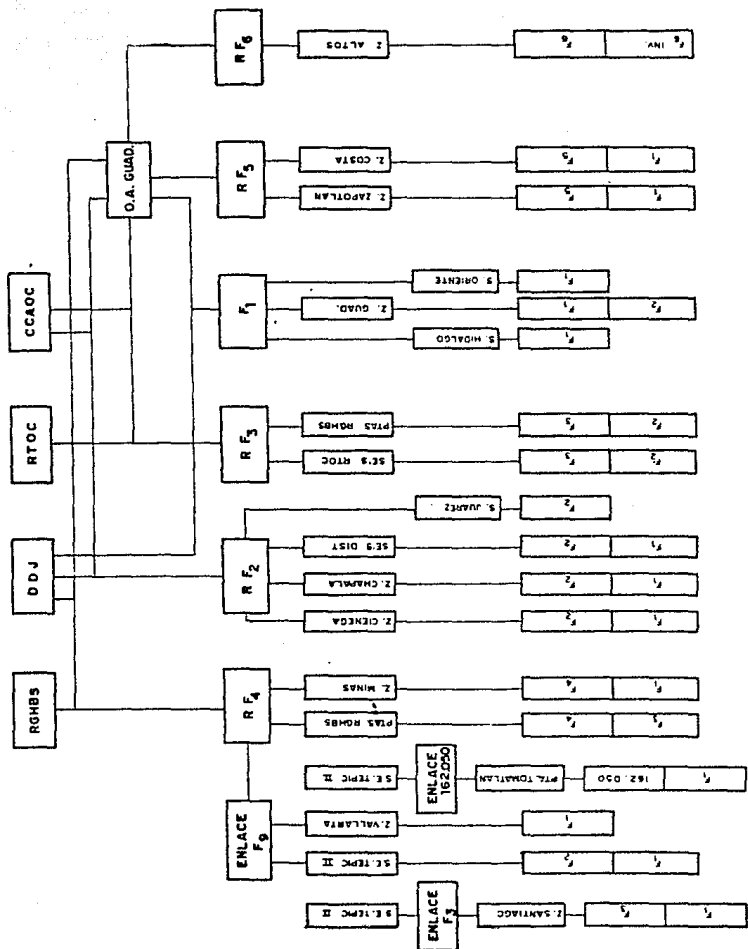


Figura 2.2: Red de operación actual.

REGION DE TRANSMISION OCCIDENTE

SISTEMA DEL CONTROL SUPERVISORIO

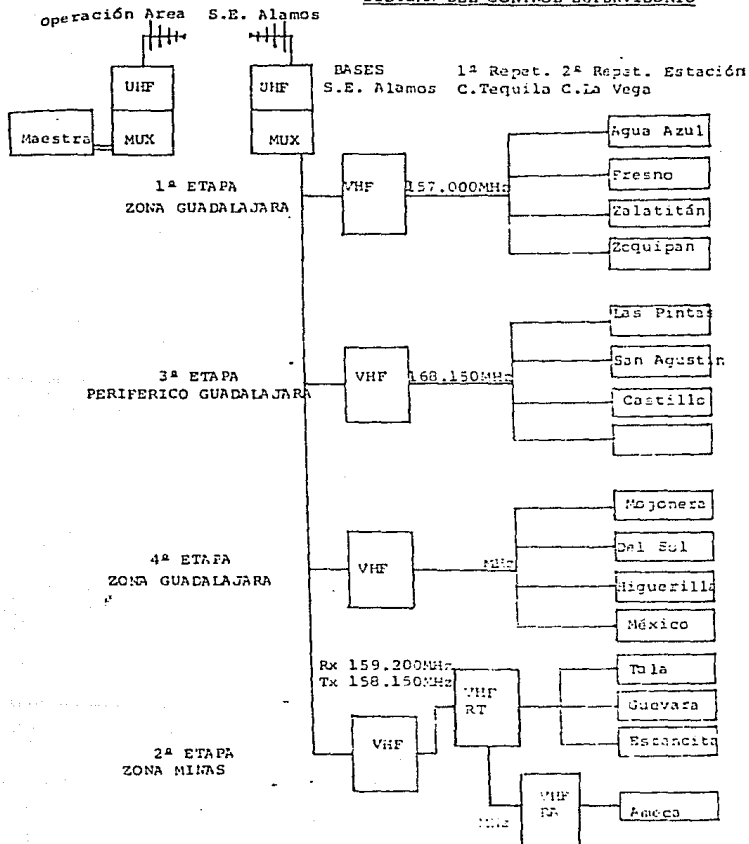


Figura 2.3: Control supervisorio de la DDJ.

magnéticas, discos), permiten concentrar cantidades cada vez más grandes de información y la metodología para almacenar, acceder y en general manejar datos se ha llegado a conocer como BASES DE DATOS.

2.3.1 Base de datos para el sector eléctrico

La información que se requiere para elaborar el diseño de la red es numerosa y variada, ya que además de abarcar una extensa zona geográfica, los datos a recabar van desde la infraestructura de equipo existente, tráfico de la red, ubicaciones de las estaciones, tiempos de mantenimiento, responsables, etc. hasta el funcionamiento operacional y administrativo de la misma.

De ahí se decidió que antes de realizar el diseño de la red, era importante contar con una base de datos. Las ventajas que esto implica, enfocado al sector eléctrico y en particular al servicio de comunicaciones para una zona especial y considerando las características de una base de datos relacional son evidentes, ya que es una herramienta fundamental para el análisis de la información existente, con la cual se podrán tomar decisiones para la planeación del crecimiento de la red.

2.3.2 Fundamentos de bases de datos

Cuando se habla de un sistema de bases de datos, se hace referencia a una colección de datos mutuamente relacionados, al hardware de la computadora que se emplea para almacenarla y a los programas utilizados para manipularla.

Datos

La información de que consta una base de datos, se dice que es integrada y compartida. Integrada, porque permite la unificación de varios archivos de datos y compartida, por el libre acceso a la información que tendrán los

usuarios de la para darle el uso que más les convenga y con la ventaja de acceder a la base de datos en forma simultanea 2 o más personas.

Hardware

En cuanto al hardware utilizado para almacenar los archivos de datos se tiene:

- Almacenamiento mecánico
 - Tarjetas perforadas
 - Cintas de papel
- Almacenamiento en cinta magnética
 - Cassette
 - Cartucho
- Almacenamiento magnético rotatorio
 - Discos
 - Tambores

También se ha empezado a almacenar utilizando tecnología óptica y de semiconductores.

Software

El intermediario entre la base de datos y el usuario que pretende manipular la información, se denomina DBMS ("Data Base Management System"); el cual está formado por una serie de programas que especifican la forma en que los datos pueden estructurarse, controla todos los accesos a estos y proporciona servicios esenciales de datos (seguridad, respaldo, recuperación y control concurrente de las actualizaciones).

Los sistemas de manejo de bases de datos corren bajo el control de un sistema operativo, que dependerá del tipo de computadora que se esté empleando (debido a que aún no se tienen sistemas totalmente compatibles).

El DBMS en su calidad de interfaz entre la información y el usuario, crea el orden de lo que podría haber sido el caos, ya que en realidad se tienen dos visiones de los datos; la visión lógica que es la forma en que el programador los percibe y la visión física que refleja la manera en que realmente están almacenados en disco; debe existir un componente que pueda convertir ambas versiones, de tal manera que el manejo de la base de datos sea satisfactorio. Esta es una de las múltiples acciones ejecutadas por el DBMS.

La seguridad de los datos es un factor muy importante, ya que además de garantizar la existencia de la información, se deberá proteger contra alteraciones; o bien, asegurar la información confidencial que se tenga. Otro aspecto importante es la capacidad de recuperación de la información perdida accidentalmente o bien la habilidad para actualizar la información, independientemente de quien o quienes la actualicen. Todas estas acciones son ejecutadas por el software de la base de datos, de ahí que su importancia sea fundamental para la manipulación óptima de una base de datos.

La figura 2.4, esquematiza las partes de una base de datos y su interrelación.

Tipos de bases de datos

En cuanto a la estructura de una base de datos (elegida por el diseñador), se tienen básicamente 4 tipos:

- Jerárquica
- Red
- Relacional
- Seudorelacional

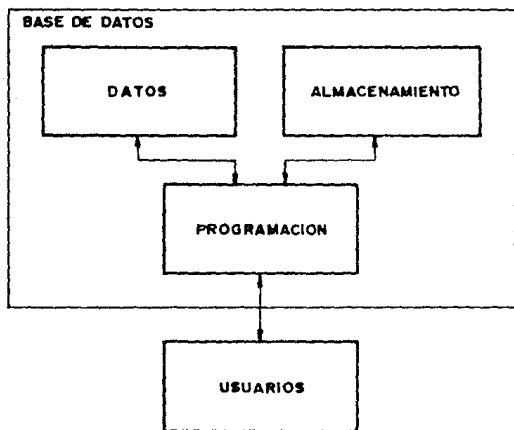


Figura 2.4: Base de datos

Base de datos jerárquica

La característica fundamental de una base de datos tipo jerárquica es que cada enlace entre dos tipos de registro, representa una relación uno a muchos en dirección descendente y uno a uno en dirección ascendente. En este tipo existirá siempre un elemento unico, del cual dependerán todos los demás.

La figura 2.5 es un ejemplo de este tipo. La base de datos representada, corresponde a la estructura de un departamento de proyectos ingenieriles. La raíz en este caso es la jefatura departamental, la cual tendrá diferentes campos¹ (nombre del responsable, área a la que pertenece, ubicación etc.). Esta jefatura departamental tiene a su cargo diferentes especialidades divididas en grupos de trabajo. A su vez los grupos de trabajo tienen asignados ciertos proyectos que deberán ser cubiertos en un tiempo determinado. Los registros de los diferentes ficheros están relacionados por llaves o campos unicos (p.e. número de proyecto).

Las ventajas de usar un modelo jerárquico son:

- La existencia de manejadores de bases de datos (DBMS) que utilizan la estructura jerárquica como estructura básica.
- La simplicidad en el manejo de esta estructura, debido a la familiaridad que se tiene con los niveles jerárquicos.

Las desventajas del modelo jerárquico son:

- El acceso a información en un nivel jerárquico bajo deberá hacerse a través de sus niveles superiores.
- Los procesos de borrado e inserción son difíciles de realizar debido a la estructura.
- El borrado en algún nivel ocasiona el borrado en los niveles inferiores.

¹ A los diferentes tipos de información almacenados en un fichero se les llama campos en la jerga de bases de datos.

- La relación muchos a muchos sólo se podrá dar en forma engañosa ya que provocará una fuerte redundancia.

Base de datos de red

En este tipo de estructura, al igual que la anterior, los datos se almacenan como registros de distintos tipos que están interconectados por medio de apuntadores de dirección. Los niveles tienden a ser pocos y más bien existe una fuerte interrelación de archivos. El hecho de considerar relaciones muchos a muchos requiere la construcción de archivos adicionales.

La figura 2.6 ejemplifica la estructura de red para la base de datos mencionada anteriormente.

En este caso se puede programar para que en función de la jefatura departamental, se listen los grupos de trabajo y los proyectos a realizar por cada grupo.

Las ventajas que ofrece el modelo de red son:

- Al igual que el anterior, la existencia de manejadores de base de datos empleando estructura de red.
- La posibilidad de crear relaciones muchos a muchos.

Las desventajas del modelo de red son:

- Complejidad en el diseño y en el manejo de la base de datos.

Base de datos relacional

Esta estructura se caracteriza por la independencia de sus archivos, los cuales no están interconectados en forma estructural como en los tipos anteriores. Las bases de datos relacionales contemplan cierta redundancia, ya que es preciso repetir el campo llave en cada archivo, para así poder establecer relaciones entre ellos.

La forma de conectar los datos de archivos independientes, es mediante procedimientos estructurados que involucren a los campos llave repetidos. Todo esto mediante una programación adecuada.

En la figura 2.7 se muestra la base de datos que se ha manejado, pero ahora con un enfoque relacional. Los 4 archivos están ligados por un campo llave que es elegido en función de las características de la información.

Las ventajas de una estructura relacional son:

- Simplicidad.
- La existencia de archivos independientes.
- Fundamentación teórica (basada en la teoría matemática de relaciones).

Las desventajas de esta estructura son:

- La existencia de un menor número de manejadores de base de datos que empleen la estructura relacional.

Base de datos seudorrelacional

La diferencia substancial entre esta estructura y la anterior, es que a diferencia de la relacional, en esta no existen procedimientos que permitan integrar los datos. Lo que se hace en este caso es crear archivos extras de coincidencia, que indican que registros de un archivo están relacionados con que registros de otro archivo.

El enfoque seudorrelacional combina la estructura de archivos de una base relacional con algún tipo de construcción física ordenada como en los sistemas jerárquicos y de red.

La diferencia primordial entre los modelos de bases de datos presentados, estriba en la representación de la interrelación entre los bloques de información.

En las bases de datos jerárquicas y de red, las relaciones se efectúan de manera implícita en el momento en que se diseñan las jerarquías y las

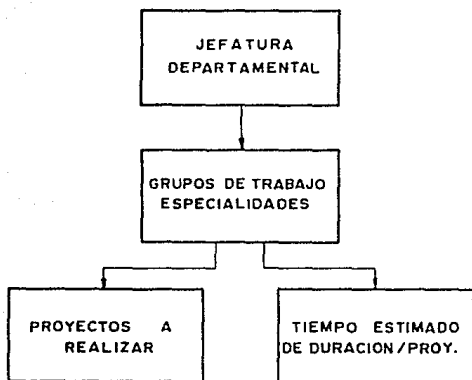


Figura 2.5: Base de Datos Jerárquica.

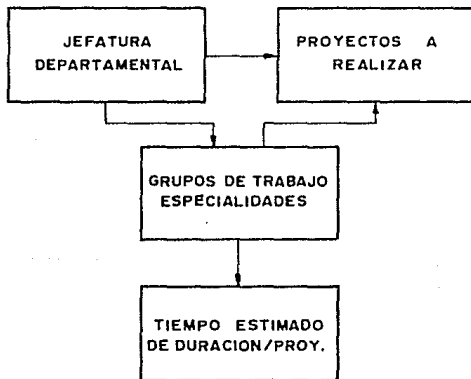


Figura 2.6: Base de Datos de Red.

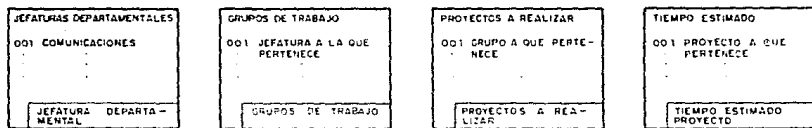


Figura 2.7: Base de Datos Relacional.

redes y en forma explícita con apuntadores. La integración está en función de la estructura de datos. En las bases de datos relacionales, las relaciones se efectúan en el momento de la ejecución. Y esto dependerá directamente del DBMS.

Ventajas del uso de una base de datos

Las ventajas que ofrece un sistema de base de datos son múltiples; sin embargo, en forma general se tienen:

- Un control centralizado de información.
- Reducción de redundancia en los datos.
- Rapidez y simplicidad en el manejo de la información.
- Los datos pueden compartirse.

- Capacidad de manejar relaciones múltiples entre distintas entidades.
- Tener elementos medulares como seguridad, concurrencia, respaldo y recuperación.
- Posibilidad de adoptar estándares.

2.3.3 Diseño de la base de datos

Diseñar una base de datos implica estructurar los archivos de una manera organizada, de tal forma que permita relacionar eficazmente los campos de cada archivo, además de cumplir con las restricciones del manejador de base de datos que se esté utilizando.

En el diseño de una base de datos existen 3 factores esenciales a considerar:

- Redundancia de datos (Normalización).
- Independencia y seguridad de los datos.
- Facilidad de programación.

Manejador de base de datos

El primer paso en la elaboración de una base de datos, consiste en elegir el tipo de manejador de base de datos que se va a emplear. Esta elección está en función de las características estructurales que deba cumplir la base de datos.

Para nuestro caso, dos factores influyeron en la decisión del manejador:

En primer lugar la información debería poder obtenerse en forma independiente. Es decir, tener archivos independientes cuya información obedezca a un patrón específico, pero con la posibilidad de establecer relaciones entre archivos. Lo cual implica la creación de una base de datos de tipo "relacional".

El segundo factor, era la necesidad de trabajar en computadoras personales

IBM/PC o compatibles (PC, XT, AT), debido a la facilidad de operación de estas máquinas y a la necesidad de contar con la base de datos en diversos puntos de la zona en estudio.

El manejador que cumple con los requisitos señalados anteriormente es el DBASE.

Dbase

El Dbase es un paquete creado por la compañía Ashton Tate, diseñado como administrador de bases de datos relacionales de alta capacidad (puede almacenar hasta mil millones de registros). Puede ser utilizado en cualquier computadora personal compatible con IBM/PC.

La versión utilizada fue DBASEIII. A continuación se presentan algunas características técnicas importantes del DBASEIII.

Registros	Mil millones
Bytes	2 mil millones máximo
Campos	120 máximo
Tamaño de campos	254 bytes máximo

DBaseIII puede manejar 15 archivos abiertos simultáneamente.

Estructuración

La información de que consta la base de datos fue extraída de los archivos existentes en las diferentes oficinas de la CFE en la DDJ. Para asegurar la veracidad y actualidad de la información, se elaboró un cuestionario para una encuesta (apéndice 3) que abarcó datos del equipo existente, condiciones actuales y expectativas para un futuro cercano.

La encuesta se aplicó a cada oficina perteneciente a la DDJ. Los datos obtenidos de la encuesta se compararon o bien se complementaron con los ya considerados para la elaboración de los archivos de la base de datos.

Haciendo un análisis minucioso de la información disponible, se estructuraron los archivos de la siguiente forma.

Cada archivo fue creado con base a una característica especial de la información, misma que sirvió para nombrar el archivo con un nombre lógico.

Los archivos formados en función al tipo de información que contienen son:

1. Identificación de la estación.
2. Datos generales de la estación.
3. Ubicación de la estación.
4. Características de los móviles.
5. Equipo de radiocomunicación.
6. Sistema de alimentación.
7. Sistema de sustentación.
8. Equipo auxiliar
9. Servicios de comunicación.
10. Características del servicio.
11. Características del equipo (menu).
12. Línea de transmisión (menu).
13. Sistema radiador menu

Cada archivo contiene un número distinto de campos (dependiendo de la cantidad de información que se disponga), pero el número de registros será el mismo para casi todos ellos, según se demostrará adelante.

Como la base de datos está enfocada a los servicios de comunicación del sector eléctrico, cada registro corresponde a una estación base o bien

a una estación móvil; pero al fin y al cabo a una estación con equipo de radiocomunicaciones.

La información concerniente a cada estación, está dividida en diez archivos (1-10) y resulta obvio que cada estación deberá estar registrada en la mayoría de estos diez archivos. Por lo que se puede tomar a la estación como campo llave de identificación en la base de datos. Por tal motivo se creó un archivo de identificación de la estación (1) que contiene el **nombre** de la estación y su **número** de estación. Las ventajas que tiene el tomar este campo llave (número) son considerables:

- Nunca se repite
- Su formato es sencillo
- Identificación inmediata

Además existen tres archivos (11-13) que son menus de especificaciones que se accesan en forma individual y cuyos datos corresponden a información tomada de manuales.

A pesar de que se podría pensar en una redundancia de información, se demuestra que no la hay, si consideramos que se trata de una base de datos relacional, misma que implica cierta redundancia útil.

Una vez estructurada de esta manera la base de datos, se comprobó que el requisito de normalización² estaba salvado, ya que no existe redundancia entre campos que no son llave.

La estructura normalizada de la base de datos se ejemplifica en la figura 2.8.

Teniendo perfectamente estructurada la base de datos, el siguiente paso es adecuarla a los formatos especificados por el DbaseIII. El número de archivos, el contenido y la elección del campo llave permanecen invariables. No así los nombres de identificación, que deben acoplarse al dimensionamiento aceptado por el paquete.

En el apéndice ?? aparece un listado de los archivos con la nomenclatura empleada y su dimensionamiento. Cabe aclarar que las restricciones exis-

²Metodología para eliminar la redundancia en campos que no son llave.

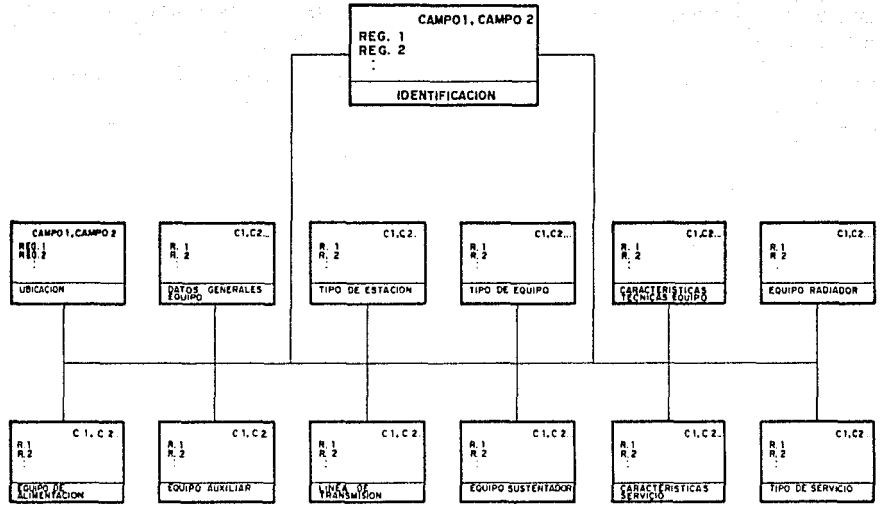


Figura 2.8: Estructura Normalizada de la Base de Datos.

tentes en el número de caracteres permitidos para el nombre del archivo y del campo, no se aplican a la información por almacenar. El espacio requerido para esta información lo establece el diseñador.

Al contar con los archivos en el paquete, prácticamente está diseñada la base de datos; con el inconveniente de que la persona que pretenda hacer uso de la base, deberá estar capacitada en el manejo del DbaseIII.

En vista de que eso frenaría un tanto la utilidad de una base de datos computacional, se procede ahora, al diseño de una serie de programas, que permitirán manipular los archivos sin necesidad de contar con una capacitación previa en el manejo del paquete.

Programación

El objetivo de crear una serie de archivos de programación en la base de datos, es facilitar y agilizar el intercambio de información entre el usuario y la base.

Para tal fin fueron creados tres grandes grupos de programas:

- De Ejecución
- De Formato
- De Reporte

El primer grupo de programas (ejecución), realizan las funciones que un operador capacitado en el manejo del DbaseIII debería hacer, para utilizar los archivos creados. Es decir que si algún usuario pretende consultar la base de datos, deberá en primer lugar buscar de alguna manera el archivo donde se encuentra la información que necesita. Una vez localizado el archivo, mediante comandos especiales del paquete, abrirlo y desplegar la información en pantalla. En caso de efectuar alguna modificación al archivo, se deberá actualizar no solamente el archivo modificado, sino todos los archivos que tengan relación con él. Y Este procedimiento además de requerir personal capacitado, implica una inversión de tiempo considerable. El paquete de

programas ejecutables realizan todo el proceso en un tiempo considerablemente menor y puede ser llevado a cabo por cualquier usuario.

Los programas de formato fueron creados para detallar las características de presentación en pantalla, de las diferentes opciones con que cuenta la Base de Datos.

En el caso de requerir información impresa, los programas encargados de procesar la información son los del grupo de Reporte. Al final de este capítulo se presentan los bloques de que consta el grupo de programas de la Base de Datos.

Funcionamiento y estructura final

Los programas diseñados contemplan 4 funciones básicas en la base de datos:

- Captura (altas)
- Cancelaciones (bajas)
- Modificaciones
- Consultas

El primer bloque de programas engloba la modalidad de captura de información. En este caso el programa pregunta en forma secuencial toda la información correspondiente a una estación en particular. La máquina automáticamente va almacenando la información, abriendo y cerrando archivos. En caso de detectar información repetida, mandará un mensaje al usuario notificándole al respecto, debido a que no es posible tener dos registros con el mismo número en el campo llave.

Gracias a esta serie de programas, el usuario no necesita preocuparse por acomodar la información en los lugares adecuados, ya que automáticamente se asignan en los archivos correspondientes.

Una vez terminado el proceso de captura de una o más estaciones (cuenta con capacidad de capturas múltiples), la actualización de la Base de Datos se realiza automáticamente.

La función de cancelaciones, debido a que es un paso delicado, ya que se puede perder información por error de mandato y se restringe el acceso a esta modalidad. Si el personal autorizado invoca esta opción, la máquina despliega en pantalla la información que se pretende borrar, teniendo la opción de borrar a dos niveles del proceso, para mayor seguridad y si no hay equivocación alguna, el proceso de borrado se ejecuta.

En el caso de modificaciones, aparecen en la pantalla los campos que se deseen modificar, efectuando las modificaciones de manera independiente; es decir, que se puede posicionar en cada campo de los archivos para un registro escogido y cambiar la información sin afectar el contenido total. En este caso no se requiere de una actualización global debido a que solo se necesita actualizar el archivo modificado.

En esta opción se pueden realizar modificaciones múltiples (varios registros), gracias a las características del DbaseIII.

Si el objetivo es solamente consultar archivos de la base de datos, el diseño cuenta con las siguientes modalidades:

- En pantalla
 - * Por listado
 - * Por registro
- En Impresora
 - * Por listado
 - * Por registro

Se puede obtener información directamente en pantalla o por impresora. Para ambos casos podemos contar con un listado de las estaciones (esta opción lista un rango de números de estaciones, cuyos límites están en función de las necesidades del usuario) y su respectiva información, o bien una sola estación con su información.

La figura 2.9 contiene el diagrama a bloques de los programas que gobiernan el funcionamiento de la base de datos.

Al invocar el usuario la base de datos desde su computadora, se encuentra con una serie de menús que le permiten elegir sus acciones con tan solo presionar una tecla determinada.

En el primer menú se elige el tipo de función: Captura, Cancelación, Modificación o Consulta. Independientemente del tipo de función que se haya seleccionado, se pasa a otro menú en donde se elige el tipo de información a procesar. Después del segundo menú, se elige el o los registros que se deseen manipular.

La base de datos consta de 13 archivos de datos con un total de 149 campos y 493 registros. Lo que hacen un total aproximado de 71457 datos almacenados. Además, la misma base consta de 63 programas correspondientes a 32 de ejecución, 18 de formato y 13 de reporte.

La actualización de la base de datos deberá llevarse a cabo en forma periodica, de tal forma que no se pierda el objetivo de la misma, por lo que es recomendable que se realice cada determinado tiempo o cada vez que surja alguna modificación, dependiendo del grado de urgencia.

BASE DE DATOS DE LA CFE-DDJ

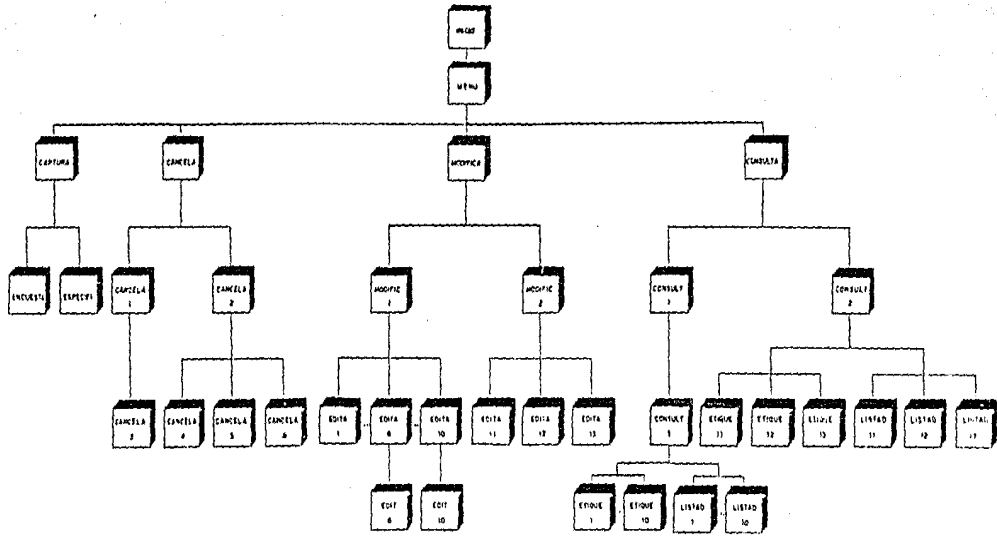


Figura 2.9: Estructura Final de la Base de Datos.

BIBLIOGRAFIA

1. "Boletín IIE" Instituto de Investigaciones Electricas Vol. 4 Mayo 1980
2. "Diseño de Bases de Datos" Gio Wiederhold-McGraw Hill
3. "Introducción a las Bases de Datos" Mark L. Gillenson McGraw Hill
4. "Data Base: Structured Techniques for Design, Performance and Management with Case Studies" S. Atre John Wiley and Sons
5. "Manual Ashton-Tate"
6. "Curso DBASE III" IIE Secretariado Técnico

Capítulo 3

CONSIDERACIONES TEORICAS

La importancia del estudio de propagación en el diseño de sistemas de comunicación, estriba en la consideración de las pérdidas que presenta el enlace debido, en general, a las condiciones ambientales existentes y al comportamiento de las ondas electromagnéticas bajo estas condiciones.

En particular, el diseño del enlace para una señal de radio móvil, se obtiene a partir de la ecuación que nos permite el cálculo de nivel de señal (S/N) para cualquier radio enlace.

Ahora bien, dado que las características ambientales del radio móvil (configuración irregular del terreno, diversas formas de construcciones hechas por el hombre, variaciones de clima etc.) y al hecho de que la recepción se hace con el vehículo en movimiento, hacen difícil la predicción de las pérdidas por propagación. Por consiguiente, no hay una solución analítica sencilla para este caso.

Por lo tanto nos apoyaremos en teorías probabilísticas, estadísticas y electromagnéticas para predecir su comportamiento con mayor exactitud.

3.1 PROPAGACION

En esta sección se estudiará la forma de predicción del margen de desvanecimiento de la señal de radio móvil, para ser incluido en la ecuación del cálculo de la razón señal a ruido que define la calidad de la señal.

La envolvente de una señal (intensidad de la señal) de radio móvil recibida en cualquier punto a cualquier instante, se representa en forma general por un desvanecimiento rápido de Rayleigh con variaciones lentas del valor de su media (desvanecimiento lognormal). En función de la representación matemática de dicha señal y sometiendo a un análisis conveniente, se pretende obtener una forma de predicción de pérdidas de trayectoria, para ser aplicadas a datos medidos.

Dicha señal puede expresarse de la siguiente manera:

$$s = r(t)e^{j\psi(t)} \quad (3.1)$$

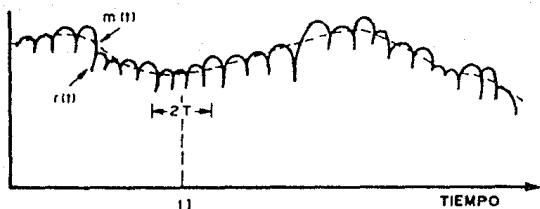


Figura 3.1: Forma de la señal

donde:

$\psi(t)$ = representa la fase de la señal, la cual en el estudio de pérdidas por propagación, no es necesario considerarla.

$r(t)$ = representa la envolvente de la señal.

La figura 3.1 nos muestra la forma de la envolvente que presenta una señal de radio móvil en la banda de UHF afectada por desvanecimiento. En esta figura se observan las fluctuaciones continuas que varían a intervalos del orden de media longitud de onda. También se aprecia la tendencia a seguir una trayectoria (la cual se enfatiza con la línea punteada) que describe variaciones lentas de intensidad a lo largo del eje de la distancia. Debido a que las rápidas fluctuaciones en el nivel de señal obedecen a una distribución de Rayleigh, acompañada de variaciones lentas de la media de la intensidad de la señal, la envolvente puede reescribirse por:

$$r(t) = m(t)r_0(t) \quad (3.2)$$

donde:

$m(t)$ = Representa la media local (debido a que muestra el promedio de la intensidad del campo en cada punto local), desvanecimiento lognormal (por su semejanza con la distribución lognormal) o desvanecimiento largo.

$r_0(t)$ = Es el desvanecimiento por multitrayectoria, desvanecimiento de Rayleigh o desvanecimiento corto.

El primero, es debido a los efectos del tipo de terreno que hay entre el móvil y la estación base sobre la señal.

El segundo, es ocasionado por las ondas reflejadas por edificios y estructuras que circundan al móvil.

Por lo tanto, podemos decir que la envolvente de una señal de radio móvil está compuesta por una señal con desvanecimientos rápidos, superpuesta en una señal con desvanecimientos lentos.

De los dos tipos de desvanecimientos que se presentan en una señal de radio móvil, el desvanecimiento log-normal siempre estará presente, ya que tiene que ver con el movimiento del vehículo sobre diversas trayectorias. A diferencia del desvanecimiento por multitrayectoria, el cual es posible que en determinado momento no exista, si nó se presentan obstáculos que actúen como elementos reflejantes múltiples.

En tal situación sólo existiría el desvanecimiento log-normal, por lo que empezaremos con el análisis de $m(t)$.

3.1.1 Desvanecimiento Largo $m(t)$ [1] [2]

Una vez definido el desvanecimiento largo anteriormente, se procede a la determinación de la media local.

Existen 2 métodos para el cálculo de la media local:

- a) Aproximación media (Prob.)- Este metodo se basa en el calculo de la media en función de datos obtenidos en mediciones de intensidad de señal realizadas a intervalos variados, para posteriormente promediarlos; con lo que se obtiene el dato buscado. [3] [4]
- b) Aproximación media (Estad.)- Esta método utiliza el concepto de desvanecimiento de Rayleigh para calcular la media local $m(t)$.

Por cuestiones de confiabilidad y para generalizar el cálculo, se utilizará el método b, tal y como se describe a continuación.

La media local estimada o medida, se expresa matemáticamente como:

$$\widehat{m}(x) = \frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} r(x) dx \quad (3.3)$$

como $r(x) = m(x)r_0(x)$

$$\widehat{m}(x) = \frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} m(x)r_0(x) dx \quad (3.4)$$

donde:

$m(x)$ = media local verdadera o real.

$r_0(x)$ = desvanecimiento de Rayleigh normalizado.

Debido a que el calculo de $m(t)$ se hará en función de la distancia que recorre el movil (x), se justifica la transformación de $m(t) \rightarrow m(x)$, $r_0(t) \rightarrow r_0(x)$; todo esto apoyándonos en $x = vt$, asumiendo que la velocidad del móvil es conocida.

Considerando el punto x en la figura 3.2, si $m(x)$ es la media local verdadera, entonces $m(x = x_1) = \widehat{m}(x = x_1)$ para :

$$x_1 - L < x < x_1 + L \quad (3.5)$$

Nuestro objetivo será asegurarnos que la media local estimada sea igual a la verdadera, i.e.

$$m(x) = \widehat{m}(x) \quad (3.6)$$

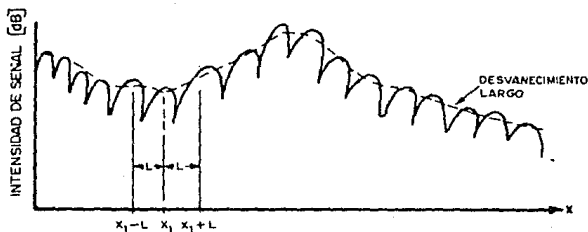


Figura 3.2: Intervalo a considerar para la media local verdadera

De la ecuación (3.4) y considerando (3.5), se tiene:

$$\widehat{m}(x) = m(x) \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r_0(x) dx \quad (3.7)$$

para conseguir la condición (3.6) debemos hacer:

$$\frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r_0(x) dx \rightarrow 1 \quad (3.8)$$

Para que esta relación se cumpla, es de vital importancia conocer el intervalo en el que se va a trabajar ($x-L : x+L$).

Dentro del proceso de análisis de la señal y en vista de que ésta se verá sometida a un estudio en un intervalo dentro del que existen dos variaciones completamente diferentes ($m(x)$, $r_0(x)$), se debe elegir el intervalo en el cual ambas señales presenten sus características fundamentales. Si $2L$ se elige demasiado grande, el término que corresponde al desvanecimiento log-normal se verá promediado y lo que interesa en este caso es conservar su forma original. Por otro lado, si el intervalo $2L$ es muy pequeño, las

variaciones correspondientes al desvanecimiento de Rayleigh permanecerían totalmente sin variación, por lo que sus características serían las dominantes dentro de ese intervalo de análisis.

Es por eso que para la elección de los límites, se deberá tomar un valor intermedio que no afecte a ninguno de los 2 términos.

Por consiguiente con el propósito de obtener el valor apropiado de $2L$, procederemos al cálculo de la varianza de $\widehat{m}(x)$ como sigue:

$$\sigma \widehat{m}^2 = (\widehat{m}^2(x)) - (m(x))^2 \quad (3.9)$$

como $\langle r_0 \rangle = 1$ y para una distribución de Rayleigh:

$$\widehat{m}(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \quad (3.10)$$

$$\langle m^2(x) \rangle = \frac{1}{4L^2} \int_{x-L}^{x+L} \int_{x-L}^{x+L} r(y_1)r(y_2) dy_1 dy_2 \quad (3.11)$$

substituyendo en (3.9):

$$\sigma \widehat{m}^2 = \frac{m(x)^2}{L} \int_0^{2L} \left(1 - \frac{x}{2L}\right) |R_{r_0}(x) - 1| dx \quad (3.12)$$

donde:

$$R_{r_0}(y) = \langle r_0(x) r_0(x+y) \rangle_{av.} \doteq 1 + \frac{1}{4} J_0^2(2\pi \frac{y}{\lambda}) \quad (3.13)$$

y

$$R_{r_0^2}(y) = \langle r_0^2(x) r_0^2(x+y) \rangle_{av.} = \frac{16}{\pi^2} |1 + J_0^2(2\pi \frac{y}{\lambda})| \quad (3.14)$$

incluyendo los valores anteriores en (3.12) se tiene:

$$\sigma \widehat{m}^2 = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma}{2^{\frac{2L}{\lambda}}} \int_0^{2L} \left(1 - \frac{x}{2L}\right) J_0^2(2\pi x) dx \quad (3.15)$$

donde:

J_0 = Función de Bessel de orden cero.

Además se define:

$$1 \sigma \widehat{m} \text{ dispersa} = 20 \log \frac{m(x) + \sigma \widehat{m}}{m(x) - \sigma \widehat{m}} dB \quad (3.16)$$

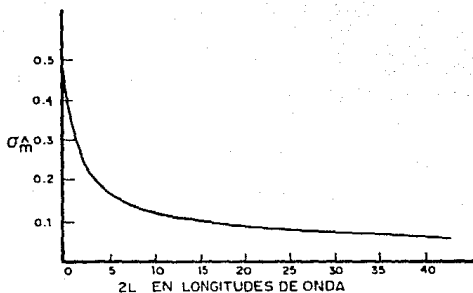


Figura 3.3: Desviación estándar vs $2L$.

Tabla 3.1: Desviación Estandar de Dispersión

$2L(\lambda)$	σ_m	$1 \sigma_m$ dB
5	0.165	3
10	0.122	2.1
20	0.09	1.56
40	0.06	1

como desviación estándar de dispersión.

Si se analiza la ecuación (3.15) para diferentes valores de L , en función de longitudes de onda y graficando, se obtiene la curva de la figura 3.3. Apoyándonos en la ecuación (3.16) y graficando $2L$ (en longitudes de onda) contra la desviación estándar de dispersión, se obtiene la curva de la figura 3.4.

Los valores graficados en la figura (3.3) y (3.4) se muestran resumidos en la tabla 3.1.

Analizando la tabla (3.1), si tomamos un valor de $2L = 20\lambda$, la $1\sigma_m$ dispersión = 1.56 dB y el valor se incrementa con bastante rapidez para $2L$ menores

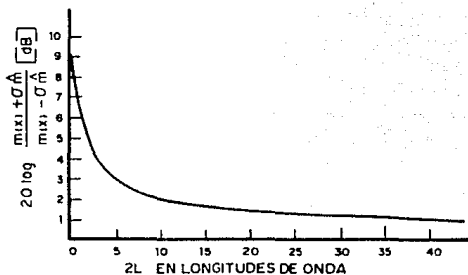


Figura 3.4: Desviación estándar dispersa vs $2L$.

(Ver figura 3.4). Si se elige $2L = 40\lambda$, $1\sigma_m$ dispersión se aproxima a 1 dB y tiende a variar lentamente para valores superiores a 40λ .

Por lo tanto, considerando que la señal en estudio consta de dos desvanecimientos (tal y como se menciono antes) se concluye que el valor óptimo a considerar para $2L$ deberá ser de 40λ . Pues una cantidad mayor, implicaría tomar un promedio del desvanecimiento largo (debido a la variación lenta de σ_m ; figura 3.4) y un valor menor a 20λ , implicaría retener las variaciones rápidas de la señal. Entonces para efectos prácticos, un valor de $2L$ escogido entre 20λ y 40λ es el adecuado.

3.1.2 Desvanecimiento Corto $r_0(t)$

Este tipo de desvanecimiento es originado por las reflexiones múltiples de la onda transmitida sobre objetos tales como casas, edificios, estructuras, vehículos, etc. Para explicar este fenómeno, analizaremos 4 casos que se presentan en la comunicación entre un móvil y una estación base.

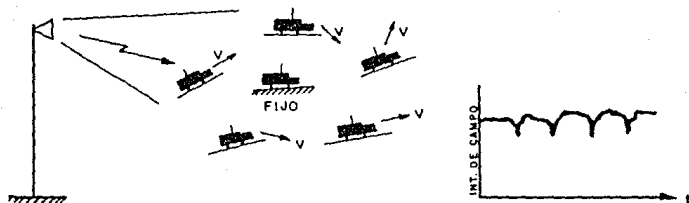


Figura 3.5: Caso 1.

Caso 1.- El móvil permanece fijo y está rodeado de varios vehículos en movimiento. La señal que recibe el móvil presentará desvanecimiento de Rayleigh, mismo que dependerá de la distancia de los demás vehículos, así como del flujo de tráfico.

Caso 2.- El móvil se desplaza con una velocidad v sin presencia de objetos reflejantes. Bajo estas condiciones, la señal recibida presenta un desvanecimiento rápido despreciable y se considera una sola señal de entrada con un ángulo θ .

Caso 3.- El móvil se desplaza a una velocidad v entre la estación base y un objeto reflejante. En este caso, se considera una reflexión perfecta de tal forma que si la señal transmitida tiene un ángulo $\theta = 0^\circ$, la señal reflejada tendrá $\theta = 180^\circ$. Por lo que la onda resultante es la suma de dos señales, es decir, la envolvente se expresa como una onda estacionaria simple.

Caso 4.- A diferencia del caso anterior, aquí se analizará el móvil, recibiendo n ondas reflejadas de n lugares, sin considerar la onda directa. La señal recibida se expresa:

$$S_r = \sum_{i=1}^n A_i e^{j2\pi f t} e^{j\beta d_i \cos \theta_i} \quad (3.17)$$

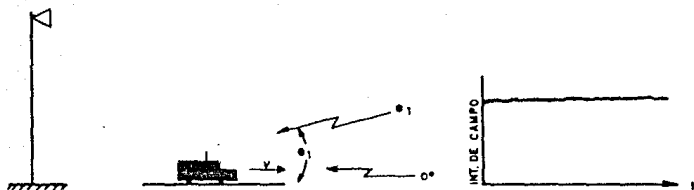


Figura 3.6: Caso 2.

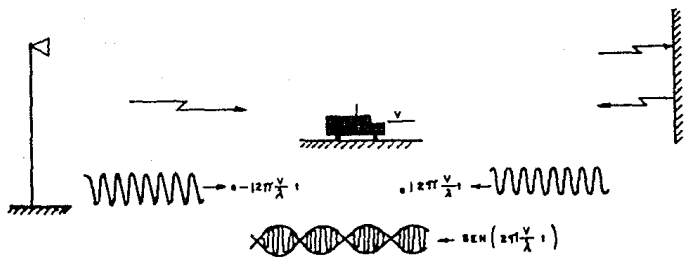


Figura 3.7: Caso 3.

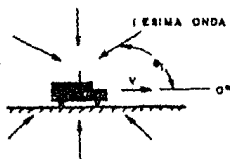


Figura 3.8: Caso 4.

donde:

f_t = frecuencia de transmisión

v = velocidad del móvil

θ = ángulo de la señal que llega al móvil

De tal manera que S_r representa una señal de radio móvil desvanecida (Rayleigh), i.e. $S_r = r_0(t)$.

Ahora bien, la señal $r_0(t)$ es una señal instantánea carente de desvanecimiento log-normal, por lo que la curva de la figura (3.2) puede ser representada tal y como se ve en la figura (3.9).

Atendiendo a la ecuación (3.2) y en vista de que ya conocemos el término $m(t)$, el desvanecimiento por multitrayectoria puede ser obtenido mediante una simple operación aritmética:

$$r_0(t) = \frac{r(t)}{m(t)} \quad (3.18)$$

logarítmicamente:

$$r_0(t) = r(t)_{dB} - m(t)_{dB} \quad (3.19)$$

Donde $r_0(t)$ obtenido en la ecuación (3.19), nos proporciona el margen de desvanecimiento de la señal transmitida, que se utilizará en el cálculo de la razón señal a ruido (S/N).

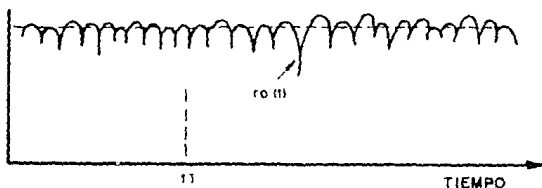


Figura 3.9: Rayleigh Normalizada

3.1.3 Métodos de predicción de pérdidas por propagación

Con el objeto de determinar las pérdidas por propagación para radio móvil, se han desarrollado una gran variedad de modelos que se pueden dividir básicamente en dos tipos:

- Experimentales
- Teóricos

Los modelos experimentales (empíricos), se fundamentan en características del ambiente y del terreno en el cual se han hecho las mediciones. Un modelo teórico es notablemente más sencillo, ya que su análisis no incluye el desvanecimiento por multitrayectoria, por lo que solo proporcionará las pérdidas por trayectoria directa.

Existen a la fecha más de 15 modelos de predicción para radio móvil [5], de los cuales se describirán tres por ser los más documentados y los que más aceptación han tenido a la fecha:

- Método de Okumura

- Método de Hata
- Método de Lee

El método de Okumura es un método totalmente experimental que se basa en mediciones hechas en la ciudad de Tokio (Japón) y zonas aledañas. El método de Hata es una simplificación del método de Okumura, ya que las curvas obtenidas por Okumura las emplea Hata para desarrollar ecuaciones que predicen la pérdida total por propagación. A diferencia de los métodos anteriores que son totalmente empíricos, el método de Lee tiene fundamentos teóricos y se complementa con parámetros experimentales tomados de Okumura.

Es pues notorio que el modelo de Okumura es la base de todos los demás modelos existentes, por lo que a continuación se describen someramente sus características.

Método de Okumura [3]

Este modelo permite predecir la intensidad de campo y el área de servicio a diferentes tipos de entornos con frecuencias de operación de 150 a 2000 Mhz y distancias de 1 a 100 Km. La altura de antenas en estaciones bases son de 30 a 1000 metros. La altura de antenas para estaciones móviles corresponden a alturas típicas para servicio de radio móvil. La predicción se hará en función a una serie de curvas, las cuales son el resultado de numerosas pruebas realizadas en VHF y UHF, para diferentes situaciones de terreno o situaciones ambientales.

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas, estos se analizarán estadísticamente con el fin de determinar la relación que existe entre la frecuencia y la distancia con la intensidad de campo para diferentes tipos de terreno.

A pesar de que existen diferentes tipos de terreno, Okumura toma como estándar el denominado casi-plano, en el cual su característica principal es que la variación del terreno en altura no rebasa los 20 metros. Entre los

tipos de terreno se tiene:

- montañoso
- trayectoria obstruida por un solo obstaculo (montaña)
- con pendiente ya sea ondulada o plana
- trayectoria mixta (tierra-mar)

Según el método de Okumura para predecir las pérdidas en cualquier tipo de terreno, se asumirá la forma casi-plana y después se harán las correcciones adecuadas según sea el caso. Para tal fin, existen una serie de curvas que proporcionan un factor de corrección que modificará la pérdida obtenida en el caso estandar.

Okumura distingue los siguientes tipos de ambientes:

- urbano
- suburbano
- área casi abierta
- área abierta

El estándar tomado por Okumura en lo que se refiere al tipo de ambiente, es el urbano. Esto es debido a que el mayor grado de exactitud que es posible obtener para todos los ambientes, es el logrado cuando se toman las curvas de mediciones en ambiente urbano como base.

Es importante no perder de vista que el método de Okumura se basa solamente en cuantiosas mediciones de propagación para radio móvil y no considera ningún modelo teórico, ni ninguna consideración de como deberían comportarse las ondas en esta banda. Por otro lado, cuando se use el método de Okumura, el principal factor que se deberá cuidar es la determinación del tipo de terreno y ambiente, para escoger el que más coincida con los descritos por Okumura; Ya que evidentemente una zona suburbana

dada por Okumura puede no coincidir con una zona suburbana de México, por ejemplo. En este caso se deberá elegir el tipo de ambiente más parecido.

Procedimiento de predicción

La ecuación que nos permitirá calcular la pérdida total por trayectoria apoyándonos en las curvas de Okumura es:

$$L_T = L_o + L_M - H_{BF}(H_{BE}, R) - H_{MF}(H_{ME}, R) \quad (3.20)$$

donde:

- L_T = pérdida total [dB].
- L_o = pérdida en el espacio libre [dB].
- L_M = atenuación media básica para área urbana con alturas de antenas de estación base y móvil de 200 m y 3 m respectivamente dada en función de la distancia R [dB].
- $H_{BF}(H_{BE}, R)$ = factor de corrección de altura de antena base, con respecto a una altura de antena base efectiva de 200 m. en función de la distancia R [dB].
- $H_{MF}(H_{ME}, R)$ = factor de corrección de altura de antena móvil de 3 m. en función de la frecuencia [dB].

El primer factor L_o , se obtiene de la conocida expresión:

$$L_o = 32.5 + 20 \log F[\text{Mhz}] + 20 \log R[\text{Km}] \quad [\text{dB}] \quad (3.21)$$

L_M se obtendrá de las curvas aportadas por Okumura. Se cuenta con resultados para diferentes frecuencias, pero debido a que nos ocupa el análisis para UHF, tomaremos el gráfico para 900 Mhz. La figura 3.10 permite obtener la atenuación media básica, en función a las características ya mencionadas.

La figura 3.11, contiene las curvas de ajuste de alturas de antenas de estaciones base para alturas diferentes a 200 m. Por lo que conociendo la

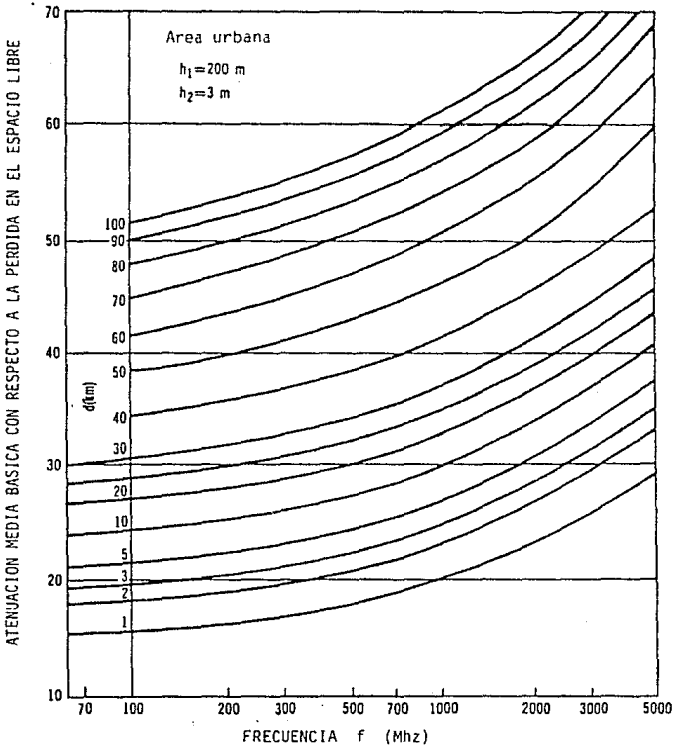


Figura 3.10: Curva de predicci3n de atenuaci3n media para areas urbanas.

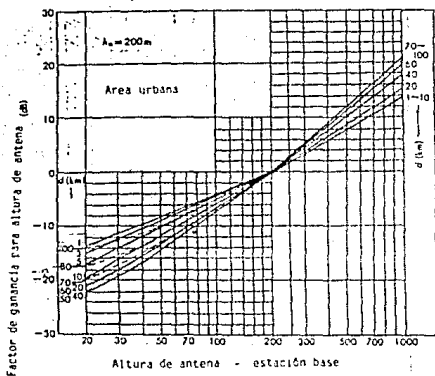


Figura 3.11: Curvas de ajuste de altura de antenas para estación base.

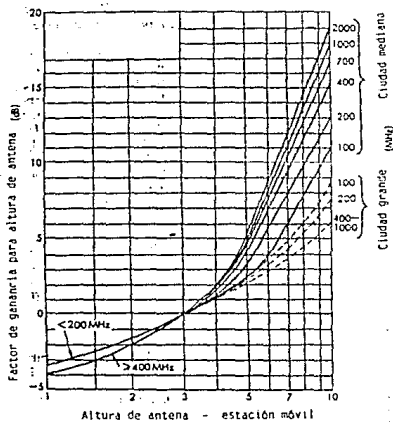


Figura 3.12: Curvas de ajuste de altura de antenas para estación móvil.

distancia (R) en Km y con la altura real (efectiva) obtenemos H_{BF} . De la misma manera, H_{MF} se obtiene a partir de la figura 3.12.

Tomando las curvas presentadas anteriormente y la ecuación 3.20, el cálculo de la pérdida total se reduce a una suma aritmética en dB de los valores obtenidos. Los factores de corrección para alturas de antenas, se considerarán cuando las alturas de antenas base y móvil sean diferentes a 200 m y 3 m. respectivamente.

En vista de que la predicción de la pérdida está estandarizada a una zona urbana, si el ambiente fuese distinto a éste, deberán utilizarse factores de corrección extras, dependiendo el tipo de ambiente con que se cuente. Estos factores se obtienen de gráficas cuya manipulación es similar a lo descrito con anterioridad.

Toda la gama de graficas de resultados de mediciones, así como los factores de corrección se podran encontrar en la referencia [2], donde la importancia de esta publicación es tal que el CCIR reporte 567-3 (1986) adoptó la curva de 900 Mhz como el modelo básico de propagación para radio móvil terrestre.

Método de Hata [6]

Este método consiste en el desarrollo de una serie de ecuaciones empíricas basadas en las curvas de Okumura. La finalidad de este modelo es simplificar la predicción de pérdida por trayectoria. Es evidente que resulta más facil aplicar una ecuación para obtener la pérdida, que leer de varias curvas para obtener el mismo valor. La ventaja más notoria al tener ecuaciones, es que se puede diseñar una serie de programas de aplicación directa. Las desventajas que presenta este método con respecto al anterior son: menor rango de frecuencias de operación 100 a 1500 Mhz, menor distancia de cobertura 1 a 20 Km, alturas de antenas base de 30 a 200 m y para móviles de 1 a 10 m.

A manera de resumen se reproduce la tabla 3.2 de ecuaciones de cálculo y sus respectivos factores de corrección.

Tabla 3.2: Formulas experimentales de predicción de pérdidas por propagación por Hata basado en Okumura

<p>Area urbana</p>	$L_T = 69.55 + 26.16 \log F - 13.82 \log H_B - a(H_M)^* + (44.9 - 6.55 \log H_B) \log R \quad [\text{dB}]$ <p>*factor de corrección para alturas de antenas de estaciones móviles</p> <p>ciudad pequeña-mediana: $a(H_M) = (1.1 \log F - 0.7) H_M - (1.56 \log F - 0.8)$ ciudad grande: $a(H_M) = 8.29 (\log 1.54 H_M)^2 - 1.1$ para $F \leq 200$ Mhz $a(H_M) = 3.2 (\log 11.75 H_M)^2 - 4.97$ para $F \geq 400$ Mhz</p>
<p>Area suburbana</p>	$L_{TS} = L_T(\text{área urbana}) - 2(\log(F/28))^2 - 2.54 \quad [\text{dB}]$
<p>Area abierta</p>	$L_{TA} = L_T(\text{área urbana}) - 4.78(\log F)^2 + 18.33 \log F - 40.94 \quad [\text{dB}]$

Método de Lee [7]

Como se mencionó anteriormente el modelo de Lee es un modelo teórico-empírico, ya que utiliza relaciones teóricas complementadas con parámetros experimentales. Este modelo consta de dos partes: la primera parte es un modelo que predice la pérdida en una área considerada (L_1) y la segunda parte se fundamenta en la primera y nos proporciona la pérdida por trayectoria punto a punto (L_2). La suma de las dos partes nos da la pérdida total para un punto específico, de tal manera que la pérdida total para una trayectoria crítica es:

$$L_T = L_1 + L_2 \quad [dB] \quad (3.22)$$

Para el cálculo de L_1 es necesario conocer los siguientes 3 parámetros:

- La potencia a una milla de distancia de la estación transmisora (P_{R_0}) en dBm.
- La pendiente de pérdida (γ) en dB/dec.
- Factor de corrección (α_0)

P_{R_0} es un parámetro determinado experimentalmente y es la forma en que este modelo considera el ambiente de la estación transmisora. Lee proporciona valores representativos para diferentes ciudades.

γ caracteriza el terreno y el ambiente por el cual la señal en consideración se propaga. Este dato se obtiene a partir de las curvas de Okumura de la siguiente manera: en la gráfica de intensidad de señal contra distancia se observa cuantos decibeles por decada se atenúa la señal, con lo que se obtiene la pendiente de pérdida para el terreno considerado. De manera general, el valor de pendiente oscila de 30 dB/dec a 40 dB/dec. Para el análisis de algún enlace, ha de esperarse que la pendiente se mantenga constante para toda la trayectoria. Si esto no se cumpliera, hay manera de ajustar el cálculo para diferentes pendientes. Como en todos los modelos

de predicción de pérdidas, Lee asume ciertos estándares de cálculo como son: altura de antenas, ganancia de antenas y potencia de transmisión. α_o es el factor que permite variar los estándares dados por Lee y ajustarlos a las condiciones de nuestro análisis.

La potencia de recepción expresada en forma lineal es:

$$P_R = P_{R_o} \left(\frac{R}{R_o}\right)^{-\gamma} \left(\frac{F}{F_o}\right)^{-n} \alpha_o \quad (3.23)$$

en dB:

$$P_R = P_{R_o} - \gamma \log\left(\frac{R}{R_o}\right) - n \log\left(\frac{F}{F_o}\right) + \alpha_o \quad (3.24)$$

Los siguientes valores son los estándares tomados por Lee, de tal manera que al substituirlos en la ecuación anterior, obtendremos un nivel de potencia absoluto; es decir P_R en dBm:

Frecuencia F	= 900 Mhz
Altura de antena est. base H_B	= 30 m
Altura de antena est. móvil H_M	= 3 m
Ganancia de antena est. base G_B	= 6 dB
Ganancia de antena est. móvil G_M	= 0 dB
Potencia de transmisión P_T	= 10 w

α_o consta de 5 factores, uno por cada condición estandar anterior por lo que $\alpha_o = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5$

$$\alpha_1 = \left(\frac{H_B \text{ nueva en m}}{30}\right)^2 \quad (3.25)$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{H_M \text{ nueva en m}}{3}\right)^v \quad (3.26)$$

donde:

$v=2$ si H_M nueva > 10 m

$v=1$ si H_M nueva < 3 m

$$\alpha_3 = \frac{G_B \text{ nueva}}{4} \quad (3.27)$$

$$\alpha_4 = G_M \text{ nueva} \quad (3.28)$$

$$\alpha_5 = \frac{P_T \text{ nueva}}{10} \quad (3.29)$$

Por lo que:

$$\alpha_0 = \sum_{i=1}^5 \alpha_i \quad (3.30)$$

Algunos valores típicos dados por Lee de γ y P_{R_0} para diferentes situaciones son:

	P_{R_0} [dBm]	γ [dB/dec]
Espacio libre	-45	20
Area abierta	-49	43.5
Area suburbana	-61.7	38.4
Area urbana (Philadelphia)	-70	36.8
Area urbana (Newark)	-64	43.1
Area urbana (Tokio)	-84	30.5

El valor de n de la ecuación 3.24 se obtiene empíricamente de las curvas de Okumura ($20 \text{ dB/dec} \leq n \leq 30 \text{ dB/dec}$).

Para áreas abiertas y suburbanas con frecuencias de operación abajo de 450 Mhz, se recomienda utilizar $n=20 \text{ dB/dec}$.

Para áreas urbanas con frecuencias arriba de 450 Mhz el valor recomendado es de $n=30 \text{ dB/dec}$.

Si tenemos el caso de que la trayectoria que analizamos abarca diferentes ambientes, la pendiente de pérdida será diferente a lo largo de la trayectoria, por lo que la ecuación de cálculo será:

$$P_R = P_{R_0} (R_1)^{-\gamma_1} \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-\gamma_2} \left(\frac{R_3}{R_2}\right)^{-\gamma_3} \dots \left(\frac{R}{R_{N-1}}\right)^{-\gamma_N} \alpha_0 \quad (3.31)$$

Una vez determinada la pérdida para el área en cuestión, se calculará la pérdida punto a punto para una trayectoria definida. En este caso tenemos 2 situaciones a considerar:

1. Trayectorias sin obstrucción
2. Trayectorias obstruidas

El primer caso consiste en trayectorias sin obstáculos para las ondas de radio, por lo que la señal recibida constará de ondas directas y ondas reflejadas. Si el terreno es montañoso, la altura efectiva de la antena transmisora variará y la contribución de pérdida será diferente [4]. De tal manera que la pérdida corregida será:

$$L_2 = 20 \log \left(\frac{H_E}{30} \right) \quad (3.32)$$

donde H_E es la altura efectiva de la antena transmisora corregida a partir de las ondas reflejadas y la pendiente del terreno.

El segundo caso considera la situación en la que la línea de vista del enlace es obstruida por algún obstáculo (montaña); por lo que la pérdida (L_2) se analizará en base a la teoría de difracción por filo de navaja. Para tal motivo se introduce el parámetro v [8]. El cual se define¹:

$$v = -H \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \quad (3.33)$$

donde:

- H Altura del obstáculo (Altura de obstrucción a partir de la línea de vista).
- λ Longitud de onda de la señal.
- r_1 Distancia de la estación base al obstáculo.
- r_2 Distancia de la estación móvil al obstáculo.

Existe una curva que relaciona el parámetro v con la pérdida por difracción en dB; sin embargo, resulta más práctico aplicar ecuaciones que permitan calcular tal pérdida. Por lo que:

para $v > 1$	$L_2 = 0 \text{ dB}$
$0 < v < 1$	$L_2 = 20 \log(0.5 + 0.62v)$
$-1 < v < 0$	$L_2 = 20 \log(0.5 e^{0.92v})$
$-2.4 < v < -1$	$L_2 = 20 \log(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1v + 0.38)^2})$
$v < -2.4$	$L_2 = 20 \log(0.5 + 0.62v)$

¹ El método utilizado para el cálculo de pérdida por difracción es el conocido como método de Picquenard.

Finalmente, si la trayectoria analizada presenta obstáculos a la línea de vista, la pérdida total será la suma de la pérdida para toda el área (L_1) y la pérdida por difracción (L_2).

Factores Adicionales

Además de las pérdidas analizadas anteriormente, existen otros factores que alteran la calidad de la señal de recepción. Estos factores son:

1. **Arbustos:** Cuando se trata de una zona con una alta densidad de arbustos (una selva p.e.), se deberá considerar un margen de pérdida adicional de 10 dB [7]. En el caso de zonas urbanas y suburbanas no es necesario el preveer una pérdida adicional, aunque hay que tomar en cuenta que la calidad de la señal variará dependiendo la estación del año. Esto debido al fenómeno natural de caída de hojas.

Se ha encontrado que la polarización de la señal influye también en la pérdida debido al follaje. De manera general, la polarización horizontal tiene menos pérdidas que la polarización vertical.

2. **Tuneles:** Los dos factores que determinan el nivel de atenuación en un tunel son la frecuencia y las dimensiones del tunel. Experimentalmente se ha comprobado que a mayor frecuencia menor atenuación y a mayor longitud del tunel mayor atenuación [9]. Un caso particular de la atenuación en tuneles es la atenuación que sufre la señal cuando el móvil cruza por un paso a desnivel. La pérdida dependerá de la velocidad del móvil y de la longitud del paso a desnivel. Típicamente el nivel de la señal disminuye de 10 a 15 dB, sin afectar notoriamente el canal de voz. El problema se torna serio si el móvil permanece bajo el paso y hay más vehículos cerca haciendo uso del teléfono móvil; aquí hay una alta probabilidad de perder la comunicación.
3. **Calles:** El nivel de recepción de una señal varía en hasta 10 dB si la estación base (transmisor) está ubicada sobre la misma calle donde

se encuentra el móvil (receptor) o si la estación base en alguna calle perpendicular a la posición del móvil. Esta condición es válida para distancias menores a 8 Km; para distancias mayores, el efecto es casi imperceptible.

3.2 REUTILIZACION DE CANALES

En un sistema de comunicación de radio móvil se pueden distinguir, en forma general, dos tipos de sistemas de comunicación en lo que se refiere a la disposición de canales: sistema Simplex y sistema Duplex. El primero usa solamente un valor de frecuencia para transmitir y recibir, a diferencia del duplex al cual se le asigna un par de frecuencias, una para cada dirección de transmisión.

En los sistemas celulares, cada canal (2 frecuencias.) puede ser asignado en el mismo instante a dos o más móviles, ubicados a una distancia D [cap.1] uno del otro.

El concepto de reutilización o reasignación de canales es una de las características fundamentales de los sistemas celulares, pues permite optimizar el uso del espectro en frecuencia. Lo anterior se consigue y se controla en función al arreglo geométrico establecido de las células, el cual implica la asignación de ciertos canales a determinadas células o áreas. Si el sistema no está adecuadamente planeado, la reutilización de frecuencias ocasiona interferencias.

A este tipo de interferencia se le conoce como interferencia co-canal, ya que es debida al uso de un mismo canal por dos o más usuarios. Las características y su manipulación para reducir sus efectos, se presentan en la siguiente sección.

3.3 INTERFERENCIA

La interferencia co-canal se presenta cuando se asigna la misma frecuen-

cia de trabajo a 2 o más usuarios, estando estos a una distancia relativamente corta uno del otro.

Analizaremos 2 casos generales, los cuales engloban los casos extremos en el estudio de la interferencia co-canal.

3.3.1 Interferencia co-canal con el uso de antenas omnidireccionales.

Con base en el sistema AMPS, en el cual el tamaño de las células o celdas es fijo, la interferencia co-canal no dependerá de la potencia de transmisión, sino que esta viene a ser una función directa del parámetro Q. Definido como:

$$Q = \frac{D}{R} \quad (3.34)$$

donde:

R = Radio de la célula.

D = Distancia existente entre 2 células co-canales.

Q = Le llamaremos factor de reducción de interferencia co-canal.

Dado que:

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{N_0 + \sum_{k=1}^{K_0} I_k} \quad (3.35)$$

donde:

$\frac{S}{I}$ = Razón de señal a interferencia.

N_0 = Nivel de ruido (usualmente despreciable debido a que el nivel de $\frac{S}{I}$ es considerablemente mayor al nivel de ruido local) [7].

K_0 = No. de celdas co-canales.

por lo que:

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{k=1}^{K_0} I_k} \quad (3.36)$$

Además [9]:

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_0} D_k^{-\gamma}} \quad (3.37)$$

donde:

γ = Pendiente de pérdidas por propagación (en función del tipo de terreno)

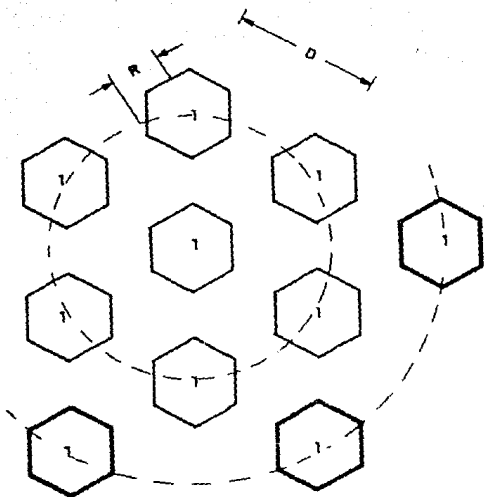


Figura 3.13: Células Interferentes

considerado).

De datos experimentales se tiene: $2 \leq \gamma \leq 5$ [3].

En nuestro análisis solamente se considera $K_0 = 6$, ya que el número de celdas co-canales en la primera hilera son 6 y como la $\frac{S}{I}$ está en función directa de la distancia, se concluye que la segunda hilera no afectará a la celda en estudio (ver figura 3.13).

Debido a que pruebas experimentales detalladas han demostrado que una relación de $\frac{S}{I} = 18$ dB [10], es suficiente para contar con una buena calidad de señal y asumiendo que las distancias D son iguales, se tiene:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{6} \left(\frac{R}{D}\right)^{-\gamma} \quad (3.38)$$

Ya que: $Q = \frac{D}{R}$

$$\frac{S}{I} = \frac{Q^\gamma}{6} \quad (3.39)$$

como $\gamma = 4$ para una señal de radio móvil típica, de la ecuación (3.39) se obtiene $Q = 4.41$, lo cual se aproxima a 4.6 que es el dato obtenido experimentalmente [10].

Si se elige un radio R y $Q = 4.6$, podemos determinar la distancia D apropiada de la relación 3.34. Entre mas grande sea el valor de Q , la interferencia co-canal se reduce.

Sin embargo, la distancia D en una situación normal no será siempre la misma, sino que variará en las 6 celdas co-canales. tal y como se ve a continuación.

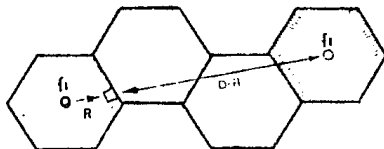


Figura 3.14: Distancias consideradas.

De las figuras (3.14) y (3.15), las distancias consideradas son:

$$D - R, D + \frac{R}{2}, D - \frac{R}{2}, D + R, D$$

aplicando estas distancias en (3.37), tenemos

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-4}}{2(D - R)^{-4} + (D - \frac{R}{2})^{-4} + (D + \frac{R}{2})^{-4} + (D + R)^{-4} + D^{-4}} \quad (3.40)$$

y como $D = QR$, se tiene:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{\frac{1}{(Q-1)^4} + \frac{1}{(Q+1)^4} + \frac{1}{(Q+\frac{1}{2})^4} + \frac{1}{(Q-\frac{1}{2})^4} + \frac{1}{Q^4}} \quad (3.41)$$

de donde: $\frac{S}{I} = 16.9608 \hat{=} 17 \text{ dB}$.

El análisis precedente muestra que para una situación como la descrita, el valor de la relación de $\frac{S}{I}$ es menor al mínimo requerido (18 dB) para un funcionamiento óptimo.

Cabe mencionar que puede ser peor el resultado si se consideran las imperfecciones de la zona de cobertura, posibles zonas de silencio etc. Por lo que en este caso el factor $Q = 4.6$ es insuficiente para garantizar una comunicación confiable. Una forma de resolver este problema es substituir las antenas omnidireccionales por antenas direccionales.

3.3.2 Interferencia co-canal con el uso de antenas direccionales.

Si cada célula co-canal en consideración, la dividimos en tres sectores que serán cubiertos cada uno por una antena direccional de 120° , el número de células co-canales que pueden interferir con la célula en estudio serán solamente 2 (Figura 3.15). Esto es debido a que la relación frente-atras de una antena direccional es de a lo menos 10 dB para una señal de radio móvil.

La relación $\frac{S}{I}$ para este caso se verá más críticamente afectada cuando la distancia $D = D + \frac{R}{2}$ como se indica en la figura (3.16).

Entonces:

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-4}}{K_0(D + \frac{R}{2})^{-4}} = \quad (3.42)$$

$$= \frac{1}{K_0(Q + \frac{1}{2})^{-4}} \quad (3.43)$$

como $K_0 = 2$ y $Q = 4.6$

$$\frac{S}{I} = 25.29 \text{ dB} \quad (3.44)$$

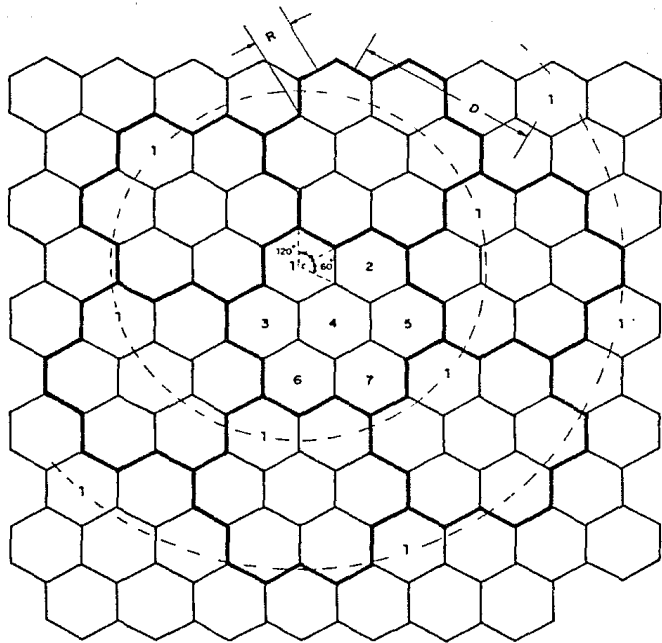


Figura 3.15: Células interferentes usando antenas direccionales.

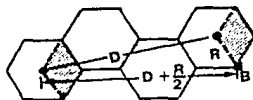


Figura 3.16: Distancia más crítica.

El valor de S/I obtenido es mayor al mínimo requerido para una comunicación confiable. Por lo que se concluye que usando antenas direccionales de 120°, se obtiene una mejor relación señal a interferencia.

Se demuestra que si dividimos la célula en seis sectores, utilizando antenas direccionales de 60°, la relación señal a interferencia obtenida es aún mayor. El inconveniente para este caso, es el empleo de mas antenas, el aumento en el número de "Handoffs" y una deficiencia en el seguimiento.

3.3.3 Interferencia de canal adyacente.

En este tipo de interferencia a diferencia del anterior, una forma de controlarla está en función de la característica K [dB/oct] del filtro empleado, ya que se trata de dos señales con frecuencias distintas pero juntas o adyacentes en el espectro.

La asignación de frecuencias juega también un papel importante para este caso. El problema se incrementa cuando existen dos o más móviles en la misma celda utilizando frecuencias adyacentes. La siguiente sección trata el caso y da una metodología para su estudio.

3.3.4 Razón de lado cercano-lado lejano.

La razón señal a interferencia se reduce si aumenta la separación geográfica de los móviles; pero como ésta distancia no es constante, habrá situaciones en los que el problema de interferencia se agudice.

Consideremos la siguiente situación: existen dos móviles en una zona cubierta por 1 sola estación base y ambos móviles emiten señales con la misma potencia, a diferencia que uno está más cercano a la estación base que el otro (figura 3.17).

Resulta evidente que la señal proveniente del móvil más cercano será más fuerte que la del móvil más alejado. La diferencia en las señales está dada por:

$$\text{Razon de lado cercano - lado lejano} = \frac{\text{perdida debida a } d_2}{\text{perdida debida a } d_1}$$

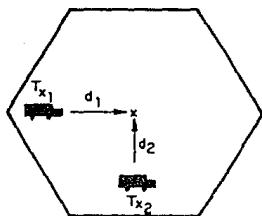


Figura 3.17: Razón de lado cercano-lado lejano.

$$= 40 \log \frac{d_2}{d_1} \text{ dB} \quad (3.45)$$

Esta relación nos indica que tan atenuada está una señal con respecto a la otra. Esta diferencia en intensidad provoca una interferencia de la señal mas fuerte sobre la más débil. Por lo que se debe encontrar un valor de guarda que aisle a las dos frecuencias y reduzca los efectos de la interferencia. Es decir, si tenemos dos canales A y B, debemos encontrar cuantos canales de separación deberá haber entre A y B.

El número de canales de separación estará dado por:

$$S = 2^{G-1} B \quad (3.46)$$

donde:

S = separación de canales.

G = $\frac{\gamma \log_{10} \frac{d_2}{d_1}}{K}$

K = característica del filtro [dB/oct].

B = Ancho de banda del canal.

La relación (3.46) nos dice cuantas veces (G-1) debemos doblar (2) al canal B en el espectro, para evitar problemas de interferencia. Todo esto en función de la característica K del filtro.

Además de la interferencia co-canal, de canal adyacente y los problemas de interferencia debidos a la razón de lado cercano-lado lejano, existen en

las comunicaciones móviles dos tipos más de interferencias:

1. **Intermodulación:** usualmente se presenta en sistemas con multiplexaje por división de frecuencia y la cual es originada por:
 - conversiones AM-PM.
 - Desacoplamiento de antenas.
 - Interacción entre antenas transmisoras.
2. **Interferencia entre símbolos:** en transmisiones digitales, al utilizar un ancho de banda finito y considerando la distorsión en la respuesta a la frecuencia, los pulsos tienden a ensancharse y traslaparse, ocasionando interferencias.

3.4 "HANDOFF"

Tal y como se describió en el capítulo 1, en los sistemas celulares la reasignación automática de frecuencia debido a un cambio de célula del móvil se llama "handoff".

Para evitar problemas de interferencia, las células adyacentes no deben usar la misma frecuencia. Al desplazarse un móvil de una zona C_1 con su respectiva frecuencia F_1 a una zona C_2 con F_2 , puede presentarse alguno de los siguientes casos:

- a) La llamada se corta en C_1 y se reinicia en la nueva celda C_2 , pues los canales que corresponden a cada célula son diferentes.
- b) La llamada se mantiene durante su paso de C_1 a C_2 , cambiando de frecuencia F_1 a F_2 ("handoff").

Es evidente que para una comunicación confiable, se prefiera el caso (b), por lo que lo importante será decidir que parametros gobiernan la frecuencia de ocurrencia y duración del handoff.

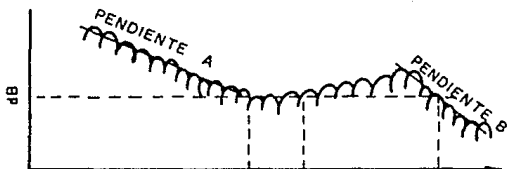


Figura 3.18: Curva de desvanecimiento.

- El valor de la media local es un parámetro decisivo para la realización del handoff, ya que en función de la posición en la que se encuentre el móvil y la intensidad de la señal recibida en la estación base, se decidirá si se requiere de una transferencia o no.
- El mecanismo de handoff es llevado a cabo desde la central de conmutación, por lo que para un buen funcionamiento deberá considerarse lo siguiente:
 - Cuando la pendiente de la media local de los datos analizados en un intervalo de tiempo (curva de desvanecimiento) es muy pronunciada, el handoff deberá realizarse rápidamente (ver figura 3.18).

La pendiente de la señal de radio móvil es muy pronunciada cuando el móvil se aleja a una velocidad alta de la estación base con la que mantiene el enlace. Por lo tanto, la señal disminuye rápidamente. Es por eso que la velocidad del móvil es un parámetro importante en la realización del handoff.

La velocidad del móvil se obtiene de:

$$v = f_d \lambda \quad (3.47)$$

donde:

v = velocidad del móvil.

f_d = frecuencia de desvanecimiento (medida de la señal desvanecida).

λ = longitud de onda.

El intervalo de tiempo entre la demanda del handoff y la realización del mismo es muy importante, ya que si es muy largo, se corre el riesgo de que ocurran handoffs innecesarios. Por otro lado, si son muy cortos se pueden perder las llamadas durante el proceso.

Existen 2 casos en los que aunque es necesario el handoff, no se puede llevar a cabo. Tales casos son:

- Cuando el móvil está en una posición geográfica con un nivel de señal inferior al umbral de handoff estipulado.
- Cuando el móvil se aproxima a un cruce de celdas, pero la celda a la que pretende entrar no cuenta con canales libres. En este caso la central de conmutación deberá hacer un rearrreglo de frecuencias, de otra manera la llamada se perderá.

3.5 ESTRATEGIAS DE CRECIMIENTO

En los sistemas celulares, el aumento de tráfico de llamadas es controlado con el concepto de división de células, el cual permite a una zona saturada aumentar su capacidad.

3.5.1 División de células

Una vez que la disposición de canales en cada célula es tal que ya no puede dar cabida a más llamadas debido a un aumento en la densidad de tráfico, las células originales pueden ser divididas en células más pequeñas.

De la figura 3.19 se ve:

$$\text{Radio nuevo} = \frac{1}{2} \text{Radio viejo [Km]}$$

$$\text{Area nueva} = \frac{1}{4} \text{Area vieja [Km}^2\text{]}$$

Si cada nueva célula maneja el mismo tráfico que la célula original, la nueva capacidad de tráfico sera:

$$N_{CT} = 4X \tag{3.48}$$

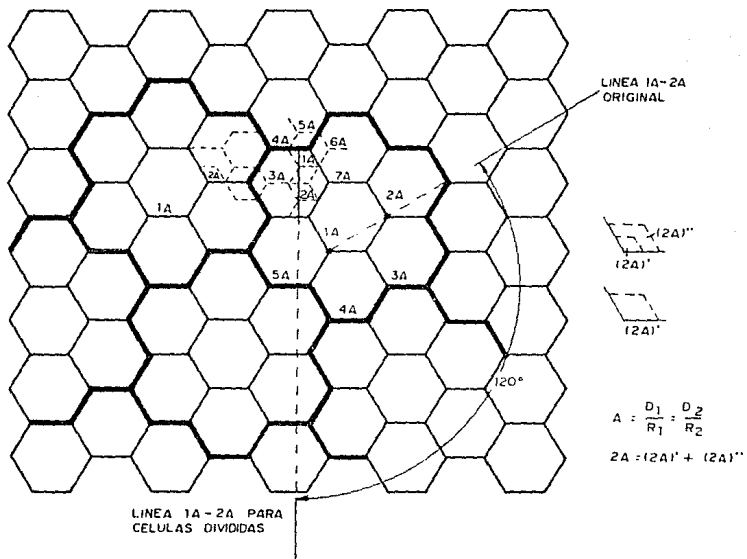


Figura 3.19: División celular.

donde:

X = densidad de tráfico anterior.

De la relación anterior se concluye que haciendo una división celular se aumenta la capacidad de cada célula en un factor de 4.

En forma general:

$$N_{CT} = 4^n \quad (3.49)$$

donde:

n = número de divisiones.

3.5.2 Potencia de transmisión en células divididas

Dado que la potencia de recepción en los límites de la célula original esta dada por:

$$P_r = P_{T1} R^{-\gamma} \quad (3.50)$$

donde:

P_{T1} = potencia de transmisión.

R = radio de la célula.

Y una vez que la célula se ha dividido:

$$P_r = P_{T2} \left(\frac{R}{2}\right)^{-\gamma} \quad (3.51)$$

donde:

P_{T2} = Potencia de transmisión en la célula dividida.

Si hacemos (3.50) igual a (3.51) para tener la misma potencia de recepción en células de diferentes tamaños:

$$P_{T1} R^{-\gamma} = P_{T2} \left(\frac{R}{2}\right)^{-\gamma} \quad (3.52)$$

Además sabemos que para una transmisión típica de radio móvil $\gamma = 4$

$$P_{T2} = \frac{P_{T1} R^{-\gamma}}{\left(\frac{R}{2}\right)^{-\gamma}} = \frac{P_{T1} 2^{-4} R^{-4}}{R^{-4}} = \frac{P_{T1}}{2^4} \quad (3.53)$$

La ecuación (3.53) implica que la potencia de transmisión es de 12 dB menor que la potencia de transmisión de la celda original.

Por lo que se puede concluir que para n divisiones:

$$P_n = P_0 - 12n \quad (3.54)$$

donde:

P_n = Potencia nueva de transmisión.

P_0 = Potencia original de transmisión.

Debido a que tanto D como R se varían durante el proceso de división, el factor de reducción de interferencia co-canal "Q" permanece constante.

La división celular deberá llevarse a cabo gradualmente, para evitar la pérdida de llamadas.

Si se desea aumentar la capacidad de tráfico en una zona ubicada entre dos sectores co-canales, al hacer la división de células en la parte media de los dos grupos de canales **2A**, se ubicará el nuevo grupo de canales **2A** (fig 3.19). Posteriormente, para ubicar a los seis canales restantes, solo se tendrá que considerar que existe una rotación de 120° en sentido horario, por cada división de células que exista. De esta manera partiendo de la zona asignada como **2A** (para este ejemplo), se asignarán las zonas restantes.

3.6 CONMUTACION Y SEÑALIZACION

El proceso de señalización consiste en transmitir información que será usada para inicializar, controlar y finalizar las llamadas. Esta información, generalmente se representa en forma digital, la cual consiste de un número determinado de bits.

En forma general, el tipo de señalización se tomará en función de dos parámetros:

- Razón de falsa alarma.
- Razón de palabra errónea.

El primero se refiere a la probabilidad de recibir una información que no estaba dirigida al usuario que la toma (interpretación errónea del dato); su valor típico es de 10^{-6} a 10^{-7} .

El segundo, es la probabilidad de enviar una palabra o código equivocado; su valor oscila entre 10^{-2} y 10^{-3} .

La conmutación es llevada a cabo, prácticamente, por la oficina de conmutación telefónica. Como el mecanismo de conmutación y señalización están fuertemente ligados, se describirá su funcionamiento englobando ambos conceptos.

3.6.1 Inicialización de llamada

Cada zona celular, cubierta por su o sus estaciones bases, cuentan al menos con un canal de inicio hacia adelante y un canal de inicio de regreso, usados para la búsqueda y acceso al móvil.

La búsqueda ("Paging") consiste en la determinación de la disponibilidad del móvil para recibir una llamada.

El acceso es la función complementaria de iniciar una llamada desde el móvil o bien, la respuesta a la señal de búsqueda desde la estación base. La figura 3.20 muestra el diagrama simplificado de comunicación entre el móvil, la estación base y la central de conmutación.

La estación base irradia a toda su zona de cobertura una serie de canales de inicio-adelante (hacia el móvil), que consisten en trenes digitales que indican entre otras cosas, el equivalente en binario del número telefónico buscado. Contiene además, una palabra adicional que incluye:

- La identificación del área en servicio.
- El número de canales de inicio que serán barridos.
- Información necesaria para que el móvil pueda identificar los canales de acceso, en el caso de que estos no sean los mismos que los de búsqueda (Sistema avanzado).



Figura 3.20: Enlace Movil-Base-MTSO.

3.6.2 Llamada Base-Móvil

El móvil a su vez, dependiendo de la zona donde esté ubicado, siempre se sintonizará con la señal de inicio de mayor intensidad. Una vez que el móvil determina que está siendo buscado (por el canal de inicio), automáticamente tratará de tomar el canal de inicio-regreso hacia la estación base, el cual opera de forma independiente al canal de ida.

Dado que dentro de una zona en particular, todas las unidades móviles deben competir por el mismo canal de inicio-regreso, se utilizan diversas técnicas para minimizar las colisiones durante el acceso:

- La señal de inicio-adelante enviada por la estación base, tiene incluida 1 bit de ocupado/desocupado cada 11 bits. En el momento que ésta detecta el bit en el estado de ocupado, es cuando le dará acceso al móvil.
- El móvil le envía a la estación base un precursor que indica con que estación base pretende conectarse.

- Después de enviar el precursor, se toma un intervalo de tiempo en el que espera ver la transición de libre a ocupado; si no lo detecta, el proceso es abortado.

Si el móvil logra establecer contacto con la estación base después de haber sido buscado, transmite hacia la estación base su número de identificación de móvil. A su vez, de la estación base es enviado al centro de conmutación utilizando un enlace de datos a 2400 bits/s. El centro de conmutación asigna un canal libre de voz. Dicha asignación es notificada al móvil por el canal de inicio-adelante. Cuando el móvil recibe la asignación, se sintoniza automáticamente con el canal asignado y manda su mensaje de recibido a la estación base por el canal de inicio-regreso, mediante un tono de audio de supervisión (SAT) de 6 khz. (originalmente enviado por la estación base). En el momento que el SAT es recibido en la central de conmutación, la estación base transmite al móvil un mensaje de datos por el canal de inicio-adelante, activando en el móvil una señal de alerta. Una vez que el móvil contesta el mensaje, un cambio de estado en el tono de señalización (ST) de 10 khz enviado por el móvil a la estación base y después a la central de conmutación, indica que el móvil está disponible y puede proceder la llamada.

3.6.3 Llamada Móvil-Base

Para este caso, al igual que el anterior, se usan tanto los canales de inicio como los de voz en forma similar.

El usuario en la unidad móvil marca y almacena el número deseado en el equipo de radio. Esta información no se transmite sino hasta que esta completa y correcta, evitando así un uso innecesario de las líneas. Posteriormente, el móvil manda a través del canal de inicio-regreso su número de identificación, así como el número deseado a la estación base. La estación base a su vez lo manda a la Oficina de conmutación de teléfono móvil (MTSO), la cual asigna un canal de voz libre y establece la comunicación con el móvil.

3.6.4 "Handoff"

Una de las principales características de los sistemas celulares, es la habilidad para transferir una señal de una antena a otra en la misma celda o bien entre celdas diferentes.

En AMPS, la forma de detectar si una llamada tiene aún una buena relación S/I para decidir si requiere de handoff o no, es la función supervisoria llamada localización ("Locating"). La decisión de cambiar o no de frecuencia es tomada por la MTSO. En caso de necesitar cambio, selecciona un canal de voz libre de alguna otra antena direccional o bien de otra zona.

Una vez que ha sido asignado el canal de voz, la MTSO informa al móvil a través de la estación base via el canal de voz-adelante su nueva asignación de canal.

La transmisión de datos sobre el canal de voz se lleva a cabo mediante una técnica conocida como "Blank and Burst", la cual consiste en suprimir la señal de voz alrededor de 50 milisegundos y enviar una ráfaga de información en ese intervalo sobre el canal de voz. Después de recibir la señal de handoff la unidad móvil, envía por el canal de voz-regreso una señal (ST) a la estación base. Posteriormente, apaga su transmisor, se sintoniza al nuevo canal de voz, prende nuevamente su transmisor y transponde el SAT encontrado en el nuevo canal.

La MTSO reordena la red de comunicación, conectando el otro punto del enlace con la nueva antena en servicio. Cuando la estación base recibe el SAT asociado a la nueva antena en servicio, notifica al MTSO. La MTSO al recibir el ST de la célula anterior y el SAT del nuevo canal, lo interpreta como un handoff consumado.

Todo este procedimiento del handoff no degrada la calidad de la señal, pues toma alrededor de 0.2 segundos todo el proceso.

3.6.5 Formato de datos para radio-transmisión

Como se explicó al principio de este capítulo, la señal de radio móvil

experimenta un desvanecimiento rápido a medida que viaja por diferentes zonas geograficas. Esto ocasiona problemas en la transmisión de datos, originando errores multiples en la señal digital. La forma de combatir este tipo de errores es codificando y repitiendo el mensaje varias veces en la fuente.

Por su parte, en el receptor se toma una sincronización de bit por bit y una decisión mayoritaria 3 de 5, esto quiere decir que de 5 palabras repetidas se tomará la que se repita 3 veces como dato correcto, chequeandola bit por bit.

El código empleado para un canal de radio es el BCH [40,28] (Bose-Chandhuri-Hocquenghem) en el canal hacia adelante y BCH [48,36] en la dirección contraria (Ver figura 3.21). De tal forma, repitiendo el mensaje y codificando la señal con un código capaz de corregir errores, permite conseguir una razón de falsa alarma y una razón de palabra errónea, muy bajas.

Los datos son transmitidos a la mayor velocidad posible dentro del ancho de banda disponible. En AMPS se utiliza una velocidad de 10 Kbits/s con una información neta de 1200 bits/s.

REFERENCIAS

1. "On the Estimation of the Second Order Statistics of Log-Normal Fading in Mobile Radio Environment" W. C. Y. Lee and Y. S. Yeh
IEEE Transactions on Communications June 1974
2. "Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal" IEEE
Transactions on Veh. tech. Vol. VT-34 No. 1 Feb. 1985
3. "Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land mobile
Service" Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano and K. Fukuda Rev.
Elec. Comm. Lab., Vol. 16 Sept-October 1968
4. "Comparison Of Mobile Radio Transmission at 150, 450, 900 and
3700 Mhz" R. M. Young Bell System Technical Journal Vol. 31
Nov. 1952
5. "Propagation Models" IEEE Transactions on Veh. tech. Vol. 37 No.
1 February 1985
6. "Empirical Formula for propagation Loss in Mobile Radio Services"
IEEE Transactions on Veh. Tech. Vol. VT-29 1980
7. "Mobile Communications Design Fundamentals" William C. Y. Lee
Howard W. Sams and Co. 1986
8. "Radio Wave Propagation" A. Picquenard. Wiley, New York 1974
9. "Microwave Mobile Communications" W.C. Jakes. Wiley, New York
1974
10. "The Cellular Concept" V. H. MacDonald Bell System Technical
Journal Vol.58 No. 1 January 1979

BIBLIOGRAFIA

1. "Mobile Communications Engineering" William C. Y. Lee McGraw Hill 1982
2. "Mobile Communications Design Fundamentals" William C. Y. Lee Howard W. Sams and Co. 1986
3. "Microwave Mobile Communications" W. C. Jakes Wiley, N. Y. 1974

Capítulo 4

DISEÑO DEL SISTEMA CELULAR

4.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA

La figura 4.1 ilustra de manera resumida, las características actuales de la División de Distribución Jalisco (DDJ), de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en lo que se refiere a estadísticas del tiempo de duración de la llamada, número de transmisiones por hora, horario de operación, orden jerárquico de la información a transmitir, tipo de información a transmitir, eficiencias requeridas y el número de equipos que componen la red, para cada zona de la DDJ.

De la misma manera en la figura 2.1 se muestra la situación geográfica de la región que comprende la DDJ, notando de manera particular la división que tienen por zonas (un total de 10) y la ubicación de los repetidores actualmente en uso.

La cantidad real de usuarios por zona en la DDJ se obtuvo a partir de un análisis minucioso de inventarios, además de comparaciones con datos reportados por personal de la CFE. Dichas cantidades se detallan a continuación.

ZONA	USUARIOS
Guadalajara	224
Altos	32
Chapala	34
Minas	47
Vallarta	49
Santiago	60
Tepic	101
Cienega	26
Zapotlan	52
Costa	39
Total	664

El total de usuarios de la DDJ comprende unidades móviles, fijas y portátiles. Cabe hacer notar que para propósitos de cálculo en nuestro

análisis, a la cantidad global de usuarios se le considerará como móviles.

Esto es debido a que la forma de hacer uso del servicio será la misma para todos.

En este caso, la planeación del sistema, abarca desde la situación actual hasta 10 años; por lo que se realiza una tabla de crecimiento con su correspondiente estudio de tráfico. Los parámetros utilizados para el cálculo del tráfico, así como del número de canales necesitados son (de la figura 4.1) los siguientes:

Crecimiento	4.2% anual
Tiempo promedio de llamada	2.7 minutos
Número promedio de transmisiones por hora por usuario	0.79
Grado de servicio	20%

El análisis del tráfico en la red es de suma importancia, ya que en función de su valor se dimensionará cada celda y se elegirá el tipo de configuración por grupo a utilizar (capítulo 1).

Para los sistemas de radio móvil, el estudio de tráfico se realiza utilizando la formula de Erlang B (sistema con pérdida).

$$T = \frac{Ntn}{60} \quad (4.1)$$

donde:

T	=	Tráfico [Erlangs.]
N	=	Número de usuarios.
t	=	Tiempo promedio de llamada.
n	=	Número de tx./ hr./ usuario.
60 min.	=	Tiempo de observación.

Por consiguiente se pretende obtener el número de canales necesarios para dar servicio a un número determinado de usuarios, con las condiciones dadas anteriormente.

Por lo que aplicando esta formula con estos datos se tiene:

$$T = \frac{(664)(2.7)(0.79)}{60} = 23.6052E. \quad (4.2)$$



REGION DE TRANSMISION OCCIDENTE

SINTESIS CENSO NECESIDADES TELECOMUNICACION DIVISION DISTRIBUCION JALISCO:

PARAMETROS O DOCUMENTOS DE REFERENCIA	OF. DIV ABR 10	2 G ABR 11	ZAL MAR 31	ZCT ABR 2	ZCH ABR 1	ZMI ABR 7	ZEA ABR 4	ZCO ABR 3	ZVT ABR 8	ZTE ABR 4	OP. TE ABR 4	2. S G ABR 3
I.- AREA (S) GEOGRAFICA (S) QUE REQUIERE (N) COMUNICACION. - ESPECIFICADA (S) EN PLANO(S). - SITIOS MARCADOS.....	EN CADA PLANO SE MARCAN AREAS GEOGRAFICAS IDENTIFICANDO FRONTERAS: DE ZONA, SECTOR, CENTRO DE DISTRIBUCION, AGENCIA, SUBAGENCIA Y SITIOS CON LOS QUE SE REQUIERE COMUNICACION.											
II.- LOCALIZACION DE SITIOS. - NOMBRE, COORD. Y ASBM.....	FALTA DOC.*	FALTA DOC.	FALTA DOC.	FALTA DOC.	FALTA DOC.	FALTA DOC.	FALTA DOC.	FALTA DOC.	FALTA DOC.	FALTA DOC?		FALTA DOC?
III.- INFORMACION A TRANSMITIR. - VOZ/DATOS/OTRA.....	V/D	AMBAS	V/D	V/D	V/*	V/D	AMBAS	AMBAS	AMBAS	AMBAS		AMBAS
IV.- ORDEN JEERARQUICO DE INFORMACION A TRANSMITIR. - DATOS SUPERVISORIO.... - VOZ OPERACION DIV/ZONA... - VOZ ADMVA. DIV/ZONA....	*	4	*	5	No Esp 1/2/3	5	4	5	5	5		5
	1/3	2/*		4/3	3/*	4/3	1/2	1/2	4/3	4/3		1/2 4/3
V.- EQUIPOS QUE COMPONEN (LMS) RED (ES). - ACTUALES (R,T,M,P,R,S).. - INCREMENTO EN 10 AÑOS.. - TOTAL EN 10 AÑOS.....	INCR 04	INCR 554	INCR 114	INCR 554	INCR 534	INCR 614	INCR 584	INCR 544	INCR 934	INCR 314	INCR 204	INCR 244
	15	213	54	31	47	51	50	37	41	55	2	53
	0	118	6	17	25	31	29	20	38	17*	4	15
	15	131	60	48	72	82	79	57	79	72	6	68
VI.- NUM. EQ. Y HORARIO DE OPER. - H 24 HR AL DIA	874	314	324	354	364	294	324	354	444	744	1004	414
- H 24 HR AL DIA	13	103	19	17	26	24	25	20	35	53	6	28
- H 8-16 HR	2	228	41	31	46	56	54	37	44	19	0	40
VII.- NUM. TRANSMISIONES PROMEDIO POR HORA. (N/HR)	10	FALTA DATO	FALTA DATO	40	FALTA DATO	20	36	FALTA DATO	30	40	*	40
	*			*		*	*		*	*	*	*
VIII.- TIEMPO PROMEDIO POR MENSAJE	3 MIN	1 MIN	1 MIN	3 MIN	1 MIN	4 MIN	4 MIN	1 MIN	1 MIN	4 MIN		4 MIN
IX.- EFICIENCIA REQUERIDA. - COBERTURA DEL AREA... - TIEMPO AUXILIA COMU- NICACION TODA LA RED DEL AREA. PROMEDIO POR EQ. AL AÑO...	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	0.014	FALTA	0.01HR	104*	0.01HR	1.04	0.014*	0.01HR	0.164	0.274	0.274	0.374
	9 HR	8HR	7:5HR	7 HR	8 HR	5:5HR	8 HR	8 HR	8 HR	8 HR	8 HR	8 HR

Figura 4.1: Síntesis de necesidades de telecomunicación de CFE-DDJ.

Tabla 4.1: Tabla de crecimiento y canales requeridos

ANO	USUARIOS	TRAFICO [E]	CANALES
0	664	23.6052	22
1	692	24.6352	23
2	721	25.6676	24
3	752	26.7712	25
4	784	27.9104	26
5	817	29.0852	27
6	852	30.3312	28
7	888	31.6128	29
8	926	32.9656	30
9	965	34.3540	31
10	1006	35.8136	32

Tomando este resultado y el grado de servicio estimado, es posible determinar la cantidad de canales necesarios para dar un servicio óptimo a este sistema. Para esto se hace uso de las tablas de Erlang B (apéndice 2), donde buscando el tráfico calculado en la columna correspondiente al grado de servicio en %, se obtiene en la columna de la izquierda el número de canales (Duplex) a utilizar.

Así, para un tráfico de 23.6052 E y un grado de servicio del 20% requerimos de 22 canales.

Esto quiere decir que con 22 canales (44 frecuencias simplex) garantizamos dar servicio a 664 usuarios a una tasa de pérdida del 20%.

La tabla 4.1 contiene los valores de tráfico y el número de canales correspondientes para los usuarios estimados por año. De allí se observa que en 10 años, a una tasa de crecimiento del 4.2% anual tendremos 1006 usuarios con un tráfico de 35.8136 E y se requerirán 32 canales (64 frecuencias).

Si analizamos con detenimiento la tabla 4.1, llegamos a la conclusión que para las condiciones del sistema (tráfico por usuario), el tratar de dimensionar las celdas que darán servicio al área en estudio en función del

tráfico, provocaría celdas muy grandes, debido a que el número de usuarios es muy reducido en comparación con la cantidad de usuarios que se maneja para una red de telefonía celular típica. Por lo que el radio de cada celda se determinara en función a la división oficial que maneja la DDJ, sin llegar a excesos tales que ocasionen problemas de propagación de onda.

Habiendo hecho diversos estudios en cuanto a cobertura por celda, se tomó un radio que cubriese la mayor parte del área de una zona (la idea es cubrir con una celda toda una zona). Evidentemente esto resulta problemático para la geometría del sistema, por lo que en algunos casos, una celda abarca el área de dos zonas diferentes o en el peor de los casos, hasta de tres zonas.

La forma final que toma el sistema se muestra en la figura 4.2. Dicho sistema tiene las siguientes características:

Radio por celda	40 Km
Area por celda	4156.92 Km^2
No. de celdas	18
Area total cubierta	74824.59 Km^2
No. de grupos ("clusters")	6
Centrales de conmutación (MTSO)	6

En la figura 4.3 se aprecia la agrupación de celdas en clusters, señalando además las celdas que serán servidas por cada central de conmutación.

La agrupación final con respecto a cada zona queda como sigue:

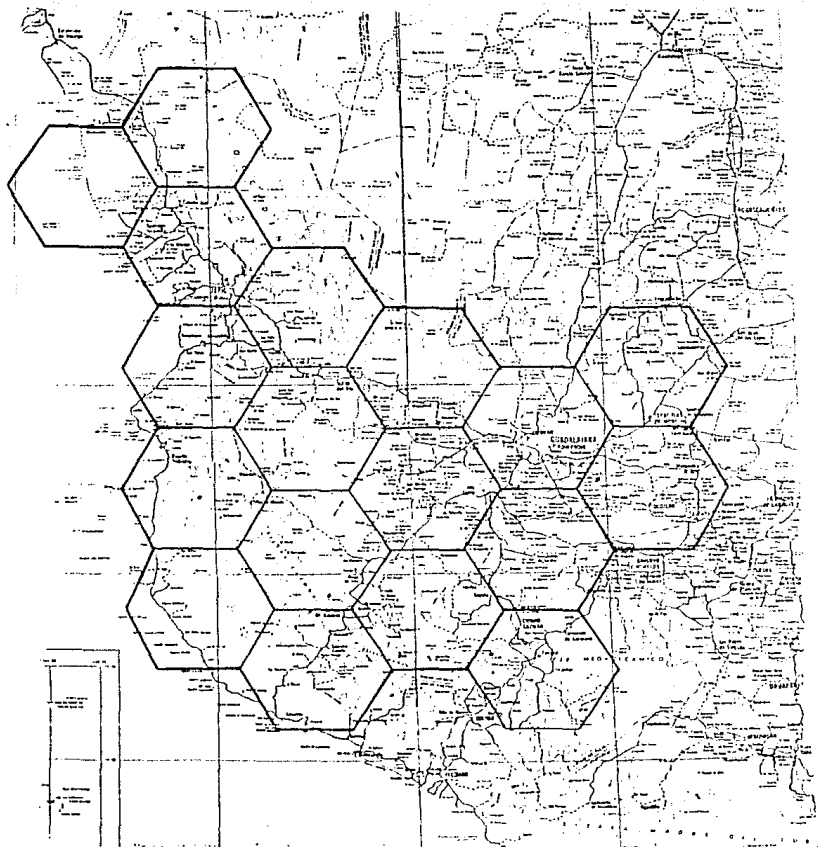


Figura 4.2: Forma final del área dividida en células.

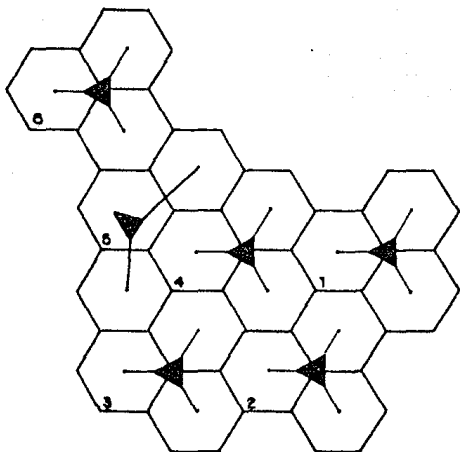


Figura 4.3: Sistema dividido en grupos de tres.

Grupo	Zonas
1	Altos, Cienega Guadalajara, Chapala
2	Chapala, Zapotlan Costa
3	Costa, Vallarta
4	Minas, Costa Vallarta
5	Vallarta, Tepic
6	Tepic, Santiago

Con el sistema así planeado se garantiza una cobertura total del sistema, para las condiciones estipuladas. Ahora bien, antes de continuar con un estudio más detallado en cuanto a características topográficas particulares, enlaces, calculos de potencia, niveles de interferencia etc., se harán unas observaciones pertinentes al diseño propuesto.

Si consideramos que para dar servicio a 664 usuarios (número total de usuarios actualmente en DDJ) dispersados en casi 70000 Km^2 , necesitamos de 18 estaciones bases con un radio de 40 Km^2 y 6 centros de conmutación; por lo que el costo por usuario es muy elevado. El costo del servicio de telefonía móvil celular es elevado (capítulo 5) y si se pretende implantar a una cantidad de usuarios tan pequeña, con lo que es más, a un tráfico tan bajo, el planteamiento es prácticamente injustificable.

Lo anterior no quiere decir que el sistema sea malo, de hecho es bueno solo que su aplicación desde el punto de vista económico no es viable. Por lo que se recomienda utilizar un método diferente para solucionar el problema de comunicación global para esta zona, como podría ser Radio móvil avanzado, Radio Simulcast, Radio Troncal etc. Ahora bien, si se observa la lista de datos de cantidad de usuarios por zona (pagina 101), se detecta que Guadalajara cuenta con la mayor cantidad de usuarios, además de tener (de la tabla 4.1) una duración de llamada promedio arriba de la media general, lo mismo que el crecimiento. Esto implica que el tráfico en

la zona Guadalajara es más alto, por lo que un sistema de telefonía celular es perfectamente aplicable a esta zona urbana.

Por lo tanto se decidió enfocar el diseño del sistema celular a la zona Guadalajara, ya que quedó claro (después del análisis tratado) que su aplicación sería factible a dicha zona.

La sección siguiente describe en detalle el diseño de la red.

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA

De manera general, el método empleado para el diseño de una red de este tipo será el marcado por los subtemas de esta sección. Con dicho diseño se pretende cubrir los requisitos de comunicación que se demandan para esta zona y además, reforzarlo con las características que da un sistema celular como tal.

4.2.1 Características del área a cubrir

La ciudad de Guadalajara tiene una superficie aproximada de 200 Km^2 , totalmente urbanizada y plana. Existen zonas específicas donde se concentran las construcciones elevadas, así como la zona industrial, comercial y áreas residenciales. Geográficamente y para propósitos de administración de la ciudad, ésta se encuentra dividida en cuatro sectores: Libertad, Reforma, Juárez e Hidalgo. Estos sectores están delimitados por la calzada y la avenida parque alcalde (de sur a norte) y la avenida Juárez y calle Javier Mina (de oeste a este respectivamente).

Por su parte, la CFE divide a la ciudad de Guadalajara para la prestación de servicios en tres grandes sectores: el Sector Oriente (que engloba al sector Libertad y Reforma), el Sector Juárez y el Sector Hidalgo.

Dado que el tráfico que se maneja en ésta zona es lo suficientemente bajo, que nos permite tener cierta libertad en cuanto al dimensionamiento de la célula, se buscará cubrir el área cumpliendo con la división marcada por la CFE. Esto permitirá una asignación de frecuencias por grupo que

corresponderá distintivamente a cada Sector de trabajo, es decir, que cada Sector contará con su propio grupo de frecuencias.

4.2.2 Estudio de Tráfico General y por Sectores

Tal y como se mencionó en la primera sección de éste capítulo, la intensidad de tráfico que se obtenga para el sistema será un parámetro importante en la determinación del número de canales necesarios y el tamaño de cada celda.

El número de usuarios de la ciudad de Guadalajara en total y por sectores se detalla a continuación:

Número de usuarios sector Oriente	35
Número de usuarios sector Hidalgo	31
Número de usuarios sector Juarez	42
Número de usuarios Dependencias	116
Número de usuarios totales	224

En función del tipo de equipo, la distribución es la siguiente:

	Sectores	Dependencias	Total
Móviles	111	34	145
Fijos	28	51	79
			224

Los usuarios marcados como dependencias corresponden a las oficinas de DDJ, RTOC, CCAOC y RGHBS. En vista de que estas oficinas están ubicadas en el centro de la ciudad y estarán en contacto con móviles circulando por toda la ciudad, para propósitos de cálculo, los usuarios de dependencias, se dividirán entre los tres sectores que comprende la ciudad, en forma equitativa. Por lo que queda:

Número de usuarios Sector Oriente	73
Número de usuarios Sector Hidalgo	71
Número de usuarios Sector Juarez	80

Tabla 4.2: Tabla de crecimiento y canales requeridos

AÑO	USUARIOS	TRAFICO [E]	CANALES
0	224	11.20	12
1	237	11.85	12
2	250	12.50	13
3	264	13.20	13
4	279	13.95	14
5	295	14.75	15
6	312	15.60	15
7	330	16.50	16
8	349	17.45	17
9	369	18.45	18
10	390	19.5	19

Recabada la información estadística se tiene:

Crecimiento	5.5 % anual
Tiempo promedio de llamada	3 min.
No. promedio de transmisiones por hora por usuario	1
Grado de servicio	20 %

El cálculo para el sistema en general, apoyándose en la ecuación 4.1 y en los datos proporcionados con anterioridad se tiene:

$$T = \frac{(224)(3)(1)}{60} = 11.2E \quad (4.3)$$

De donde se deduce que el tráfico por usuario es de 0.05 E.

La tabla 4.2 muestra los resultados del cálculo de tráfico para los 10 primeros años, incluyendo el número de canales requeridos.

Para este caso se inicia con 224 usuarios y un tráfico de 11.2 E, por lo que se requieren 12 canales. A los 10 años se tienen 390 usuarios, con un tráfico de 19.5 E y una cantidad mínima de 19 canales. Esto es considerando

Tabla 4.3: Tabla de crecimiento y canales requeridos del Sector Oriente.

AÑO	USUARIOS	TRAFICO [E]	CANALES
0	73	3.05	5
1	77	3.85	5
2	82	4.10	6
3	87	4.35	6
4	92	4.60	6
5	97	4.85	6
6	103	5.15	7
7	109	5.45	7
8	115	5.75	7
9	122	6.10	7
10	129	6.45	8

a toda la red como un solo sistema.

Utilizando la misma ecuación (4.1), se pueden obtener los resultados para cada Sector. Las tablas 4.3, 4.4 y 4.5 contienen el resumen de cálculos para el Sector Oriente, Juárez e Hidalgo respectivamente.

De las tablas anteriores se puede hacer un par de observaciones: En primer lugar, se ve que para los tres Sectores el mínimo número de canales necesarios para satisfacer las necesidades de comunicación actual es el mismo (5) y además, que a medida que transcurre el tiempo y crece el sistema, el número de canales requeridos crece casi proporcionalmente; Observándose que en 10 años, con un tráfico de 6.6 E en promedio por los tres, se requerirán de 8 canales por sector 24 canales en total para garantizar un servicio óptimo.

Todo esto sugiere el utilizar 3 células (una por cada Sector) con 8 canales por celda. Además, los rangos de tráfico manejados permiten implantar células Omnidireccionales.

Tabla 4.4: Tabla de crecimiento y canales requeridos del Sector Juarez.

AÑO	USUARIOS	TRAFICO [E]	CANALES
0	80	4.00	5
1	85	4.25	6
2	90	4.50	6
3	95	4.75	6
4	101	5.05	6
5	107	5.35	7
6	113	5.65	7
7	120	6.00	7
8	127	6.35	7
9	134	6.70	8
10	142	7.10	8

Tabla 4.5: Tabla de crecimiento y canales requeridos del Sector Hidalgo.

AÑO	USUARIOS	TRAFICO [E]	CANALES
0	71	3.55	5
1	75	3.75	5
2	80	4.00	5
3	85	4.25	6
4	90	4.50	6
5	95	4.75	6
6	101	5.05	6
7	107	5.35	7
8	113	5.65	7
9	120	6.00	7
10	127	6.35	8

4.2.3 Radio de la Célula

Estrictamente hablando, el radio de las células deberá delimitarse en función de la intensidad de tráfico que exista en el área en estudio, pero debido a que contamos con un tráfico bajo y canales necesarios para cubrir las necesidades estipuladas, el dimensionamiento del radio de la célula se hará atendiendo a características tales como:

- División oficial de CFE y de servicio de la ciudad
- Mayor cobertura posible por celda
- Sitios optimos para ubicación de estaciones bases
- Cumplir con los límites de tamaño de celda según AMPS
- Estructura geométrica del sistema tal que permita un crecimiento ordenado, siguiendo la técnica de división de células (Cap. 1)
- Enlaces realizables dentro de cada célula.

Después de una serie de ensayos sobre diferentes radios y diferentes posiciones de células, se llegó a la conclusión de que la zona metropolitana de Guadalajara sería cubierta por tres celdas hexagonales, con un radio de 7.5 Km cada una.

En la figura 4.4 se muestra la configuración del sistema. En dicho sistema se puede observar que el vertice común a las tres células coincide con el centro oficial de la ciudad, y que cada celda abarca en su gran mayoría a cada Sector. La celda 1 cubre el sector Oriente, la celda 2 el Sector Juárez (y parte del Oriente) y la celda 3 el Sector Hidalgo.

La disposición geométrica permite diferenciar los tres Sectores, además de cumplir con una cobertura total. El área total cubierta es de 438.4254 Km², que es más del área urbana actual de la ciudad; esto permite cubrir las plantas hidroeléctricas de la zona noreste, las zonas industriales del sur, incluyendo al Aeropuerto Internacional (gracias a las características planas del terreno).

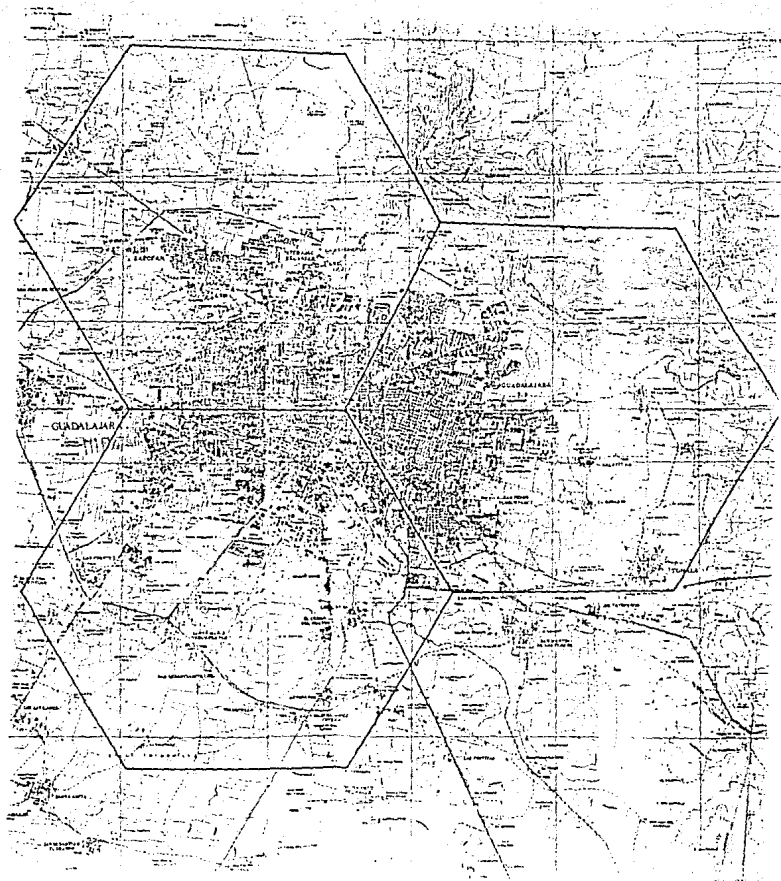


Figura 4.4: Configuración del sistema.

4.2.4 Ubicación de las Estaciones Base

La característica fundamental de una célula omnidireccional, es que la ubicación de su estación base está en el centro geométrico de la célula y en vista de que este sistema es omnidireccional, la posición de las estaciones base deberá fijarse dentro de una circunferencia con centro en el centro geométrico de la célula y radio de 1.87 Km, correspondiente a $1/4$ del radio de la célula (cap. 1).

Para las células 1 y 3, la ubicación de las estaciones base quedarán dentro del límite establecido. Así, la estación 1 será ubicada en las inmediaciones de la presa Osorio al este de la ciudad. La estación 3 estará cerca de las instalaciones de la Escuela de Agricultura de la U. A. G. Y por último, la estación 2 será ubicada en el cerro el cuatro. Este punto está fuera de la circunferencia de radio de 1.87 Km, sin embargo, se eligió debido a que al ubicarla aquí contamos con una ganancia en altura de casi 300 metros e infraestructura ya instalada, lo que implica mejores características de transmisión para este Sector y economía respectivamente. En la figura 4.4 se señala la ubicación de las estaciones base.

4.2.5 Propagación

El objetivo de esta subsección es determinar las pérdidas por propagación que sufre la señal de radio móvil, para el tipo de terreno y ambiente que caracteriza a la ciudad de Guadalajara.

Debido a que no existe un método que se ajuste totalmente a las condiciones ambientales locales de esta área, se determinarán las pérdidas en base a los 3 métodos explicados en el capítulo 3, haciendo los ajustes necesarios para este caso. Una vez obtenidos los resultados, se podrá hacer un estudio comparativo entre ellos para llegar a un valor más apegado a la realidad.

4.2.5.1 Características del terreno

El tipo de terreno que se manejará para la ciudad de Guadalajara será plano (casi liso), en el cual las variaciones en altura del terreno no rebasa los 20 metros.

El tipo de ambiente (entorno) se toma como urbano, lo que implica una ciudad o población grande, con edificios o casas habitación elevadas o población densamente habitada con arboles altos y numerosos.

4.2.5.2 Parámetros de cálculo

Antes de iniciar el cálculo de pérdidas por trayectoria, deberán definirse una serie de condiciones que permanecerán fijas para cualquier método empleado.

Potencia de transmisión	P_T	= 10 watts.
Frecuencia de operación	F	= 900 Mhz.
Altura antena estación base	H_B	= 30 m.
Altura antena estación móvil	H_M	= 1.5 m.
Ganancia antena estación base	G_B	= 6 dB.
Ganancia antena estación móvil	G_M	= 0 dB.
Radio de la célula	R	= 7.5 Km.

4.2.5.3 Predicción de pérdidas

El cálculo de pérdidas se realizará siguiendo los lineamientos establecidos en el capítulo 3, donde se proporcionan los fundamentos teóricos de cada método.

Método de Okumura

Dada la naturaleza empírica de este método, la estimación de la pérdida por trayectoria se obtiene en función de las curvas incluidas en el capítulo 3. De manera general:

$$L_T = L_o + L_M - H_{BF}(H_{BE}, R) - H_{MF}(H_{ME}, R) \quad (4.4)$$

Así, la pérdida en el espacio libre es:

$$L_o = 32.5 + 20 \log(7.5) + 20 \log(900) = 109.0861 \text{ dB} \quad (4.5)$$

De la figura 3.10 para una frecuencia de 900 Mhz, intersectandose con la curva de 7.5 Km, se obtiene una atenuación media con respecto a la pérdida en el espacio libre de: $L_M = 27.5 \text{ dB}$

Los factores de corrección para las antenas base y móvil empleadas se obtienen de las figuras 3.11 y 3.12 respectivamente.

Para $H_{BF}(H_{BE}, R)$ con una altura de 30 mts de antena base a una distancia de 7.5 Km se tiene: $H_{BF} = -15.5 \text{ dB}$

Para $H_{MF}(H_{ME}, R)$ de la figura 3.12 con una altura de 1.5 a 900 Mhz $H_{MF} = -3 \text{ dB}$

Por lo tanto:

$$L_T = 109.0861 + 27.5 + 15.5 + 3 \quad (4.6)$$

$$L_T = 155.0861 \text{ dB} \quad (4.7)$$

Método de Hata

Según la tabla 3.2 se tiene:

$$L_T = 69.55 + 26.16 \log F - 13.82 \log H_B - a(H_M) + (44.9 - 6.55 \log h_B) \log R \quad (4.8)$$

Donde $a(H_M) = 0$ debido a que la altura de la antena móvil considerada es de 1.5 m.

Substituyendo directamente:

$$L_T = 69.55 + 26.16 \log(900) - 13.82 \log(30) + (44.9 - 6.55 \log(30)) \log(7.5) \quad (4.9)$$

$$L_T = 157.2431 \text{ dB} \quad (4.10)$$

Método de Lee

La formula general que nos permite calcular la potencia de recepción en función de los datos ya establecidos es:

$$P_R = P_{RO} - \gamma \log\left(\frac{R}{R_o}\right) - n \log\left(\frac{f}{f_o}\right) + \alpha_o \quad (4.11)$$

Tomando como valores de P_{RO} y γ los medidos para la ciudad de Philadelphia (zona urbana):

$$\begin{aligned} P_{RO} &= -70 \text{ dBm} \\ \gamma &= 36.8 \text{ dB/dec} \end{aligned}$$

En vista de que se requiere corregir solamente el dato para la altura de antena de la estación móvil, se tiene: $\alpha_o = \alpha_2$

$$\alpha_2 = \left(\frac{1.5}{3}\right)^v \quad (4.12)$$

donde $v = 1$ entonces $\alpha_o = \frac{1.5}{3} = 0.5 = -3 \text{ dB}$
substituyendo en 4.11

$$P_R = -70 - 36.8 \log\left(\frac{4.6613}{1}\right) - 30 \log\left(\frac{900}{900}\right) - 3 \quad (4.13)$$

$$P_R = -97.6011 \text{ dBm} \quad (4.14)$$

si deseamos calcular la pérdida neta por trayectoria se tiene:

$$L_T = P_T - P_R \quad L_T = 40 - (-97.6011) \quad (4.15)$$

$$L_T = 137.6011 \text{ dB} \quad (4.16)$$

Comparación entre métodos

La diferencia substancial entre el método de Okumura y el de Hata es el rango de trabajo de cada uno de ellos. Por lo que dentro del rango en el cual coinciden, el resultado deberá ser el mismo. Sin embargo una vez realizados los cálculos se aprecia una ligera diferencia entre ambos métodos (un poco mayor con Hata que con Okumura). Este resultado concuerda con Delisle-Lefevre [1].

Entre Okumura y Lee hay evidentemente una diferencia más notoria. Ambos consideran el efecto del terreno y del ambiente para la predicción de la pérdida, pero con diferentes puntos de vista.

Lee toma el ambiente en el cual se encuentra ubicada la estación base como el factor a considerar para el cálculo. En cambio, Okumura toma el ambiente en el que se ubica la estación móvil. Esto ocasionará diferencias significativas solo cuando el ambiente de las estaciones (fija y móvil) sea diferente.

Para la correcta elección del método de predicción de pérdidas por propagación se recomienda tomar en cuenta los siguientes tres puntos:[2]

1. Tipo de geografía a cubrir.- Aquí se incluye el tipo de terreno y el ambiente. El grado de exactitud del modelo dependerá de la similitud

que exista entre el terreno en estudio y el terreno para el cual el modelo fue creado.

2. Tipo de predicción.- En esta sección se determinará el tipo de información que nos interesa obtener (valor medio de la potencia de recepción, desviación estandar, pérdida de transmisión etc.).
3. Grado de complejidad.- En este caso se tomará en cuenta el compromiso entre la exactitud deseada del método y el grado de dificultad para aplicar dicho método.

Los tres modelos presentados anteriormente fueron creados para situaciones geográficas similares a la ciudad de Guadalajara (urbanas), por lo que el punto 1 anterior queda cubierto. Dado que el tipo de información que necesitamos obtener (pérdida por transmisión) la reportan los tres modelos, el punto 2 se cumple totalmente. En cuanto al grado de complejidad de los modelos descritos (particularmente el de Lee) entran en el de simples, ya que no se precisa de diseñar programas de computo para realizar los cálculos. Aurand [2] presenta tablas y curvas donde se relacionan exactitud, sencillez y tipo de predicción para diferentes métodos.

A continuación se muestran los resultados del cálculo de pérdida para los métodos empleados (distancia = 7.5 Km y frecuencia = 900 Mhz).

Método	Pérdida {dB}
Okumura	155.0861
Hata	157.2431
Lee (Philadelphia)	137.6011
(Tokio)	147.3895
(Newark)	135.8127

Atendiendo a la tabla anterior, se puede apreciar la diferencia que existe entre los resultados dados por cada método, para las mismas condiciones de análisis. De los tres métodos analizados se tomará como base para el diseño el modelo de Okumura por las siguientes razones:

- 1) Es el más exacto de los tres.

- 2) Fundamentalmente los métodos restantes están basados en Okumura.
- 3) Se puede ajustar el terreno en estudio a las condiciones del análisis.
- 4) No es tan complejo que amerite el uso de una computadora.

El perfil topográfico presentado en la figura 4.5 (a pesar de haber sido trazado en base a datos de un solo Sector) es representativo de los tres sectores ya que la ciudad de Guadalajara esta prácticamente a un mismo nivel. Por consiguiente, un solo cálculo de pérdida por trayectoria es suficiente para caracterizar a toda el área de cobertura; a excepción del enlace Cerro el Cuatro (base) - Las Fuentes (móvil) ubicado en la celda 2. Observando el perfil topográfico respectivo, (figura 4.6), se aprecia que la línea de vista es obstaculizada por el Cerro el Gachupin. Así aplicando el método de Picquenard de pérdida por difracción, explicado en la sección 3.1.3 se tiene:

$$v = -H\sqrt{\frac{2}{\lambda}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)} \quad (4.17)$$

donde:

$$\begin{aligned} H &= 50 \text{ m (del perfil topográfico)} \\ \lambda &= 0.33 \text{ m} \\ r_1 &= 2170 \text{ m} \\ r_2 &= 4830 \text{ m} \end{aligned}$$

$$v = -50\sqrt{\frac{2}{0.33}\left(\frac{1}{2170} + \frac{1}{4830}\right)} \quad (4.18)$$

$$v = -3.1811 \quad (4.19)$$

Por lo que según las relaciones de la sección 3.1.3

$$L_D = 20 \log \frac{-0.225}{-3.1811} \quad (4.20)$$

Finalmente la pérdida por difracción es:

$$L_D = 23 \text{ dB} \quad (4.21)$$

Para este análisis en particular, la pérdida por difracción deberá ser sumada a L_T para obtener la pérdida total real. Entonces:

$$L_T = 155.0861 + 23 \quad (4.22)$$

$$L_T = 178.0861 \quad (4.23)$$

Calidad de la señal

La manera de determinar la calidad del enlace será calculando la relación señal a ruido (S/N) que presenta la transmisión:

$$\frac{S}{N} = P_T + (G_B + G_M) - L_A - L_T - (N_T + N_F) + P \quad (4.24)$$

donde:

P_T	=	Potencia de transmisión
G_B	=	Ganancia antena base
G_M	=	Ganancia antena móvil
L_A	=	Pérdidas adicionales
L_T	=	Pérdida total por propagación
N_T	=	Ruido térmico
N_F	=	Factor de ruido
P	=	Preenfasis

P_T - Equipo típico de radiotelefonía maneja potencias de salida para radio frecuencia de 10 w a 25 w en forma general. Para propósitos de cálculo se utilizara una potencia de 20 w (43 dBm).

G_B - La antena de la estación base considerada es una antena típica de radiotelefonía móvil colineal omnidireccional con una ganancia de 6 dB.

G_M - La antena del vehículo móvil cuenta con una ganancia de 3 dB y patrón omnidireccional.

NOTA: El patrón omnidireccional referido anteriormente corresponde al plano horizontal; no así el vertical, el cual es directivo. Por este hecho se consigue una ganancia no unitaria.

L_A - Las pérdidas adicionales están dadas por los siguientes elementos [3]:

Pérdidas en los filtros	0.5 dB
Pérdidas en componentes y conectores	1.5 dB
Pérdida en el alimentador	1.5 dB
Pérdida en el cable	1.89 dB

Para una longitud de 45 m y una pérdida de 0.042 dB/m para cable Heliax

5-50 [4] L_A total = 5.39 dB.

$$N_T = 10 \log(KTB)$$

$$N_T = 10 \log((1.38 \times 10^{-23})(290)(30 \times 10^3)) \quad (4.25)$$

$$N_T = -129.206 \text{ dBm} \quad (4.26)$$

$N_F = 6$ dB (De las especificaciones del receptor)

P.- El valor usado de preenfasis para radio móvil es de 6 dB/oct

La siguiente tabla muestra de manera agrupada los parámetros que determinan la calidad de la señal:

Parámetro	Pérdida	Ganancia
P_T		43 dBm
L_A	5.39 dB	
L_T	155.0861 dB	
G_B		6 dB
G_M		3 dB
P		6 dB
	160.4761 dB	58 dBm

Finalmente:

$$\frac{S}{N} = 58 - 160.4761 - (-129.206 + 6) \quad (4.27)$$

$$\frac{S}{N} = 20.7299 \text{ dB} \quad (4.28)$$

Esta será la calidad de la señal con que se cuenta para los tres sectores y corresponde a una buena calidad de transmisión.

Para el caso del enlace Las Fuentes - Cerro el Cuatro, tratado anteriormente, la calidad de la señal es:

$$\frac{S}{N} = 43 - 178.0861 - 5.39 - (-129.206 + 6) + 6 - 3 + 6 \quad (4.29)$$

$$\frac{S}{N} = -2.2701 \text{ dB} \quad (4.30)$$

Este valor implica un enlace prácticamente irrealizable, en función de los parámetros establecidos; es decir que habrá una pequeña zona de silencio en Las Fuentes siempre y cuando el móvil ubicado en esta zona, esté servido por la estación base del Cerro el Cuatro. Para solucionar este problema se decidió servir a la región de Las Fuentes mediante la estación base 3 (U.A.G.). Por tal motivo, para la estación U.A.G. se utilizará una antena con ganancia de 10 dB y una altura de 50 m. Si se hubiese tratado de cubrir Las Fuentes con la misma antena que las otras dos estaciones, el enlace tendría problemas de pérdidas por difracción y por lo consiguiente un bajo nivel de señal. Al aumentar la altura y la ganancia se consigue un nivel adecuado en Las Fuentes.

A continuación se detalla el cálculo para este enlace:

El perfil topográfico del enlace aparece en la figura 4.7. La pérdida por propagación utilizando el método de Okumura es:

$$L_o = 32.5 + 20\log 13.4 + 20\log 900 = 114.1269 \text{ dB} \quad (4.31)$$

$$L_M = 31 \text{ dB}$$

$$H_{BF} = 13 \text{ dB}$$

$$H_{MF} = 3 \text{ dB}$$

$$L_T = L_o + L_M + H_{BF} + H_{ME} + L_D \quad (4.32)$$

$$L_T = 161.1269 \text{ dB} \quad (4.33)$$

La relación señal a ruido es:

$$\frac{S}{N} = 43 - 161.1269 - 6.23 - (-123.206) + 10 + 3 + 6 \quad (4.34)$$

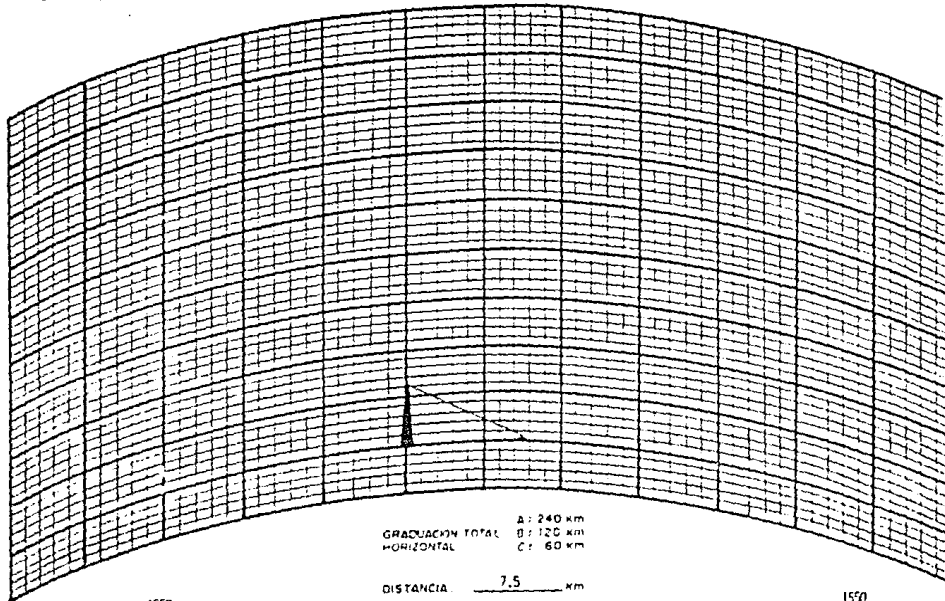
$$\frac{S}{N} = 17.8491 \text{ dB} \quad (4.35)$$

La tabla 4.6 contiene los parámetros finales para el sistema.

ESTACION: OSORIO
LONGITUD: _____
LATITUD: _____

PERFIL TOPOGRAFICO
E K: 4/31

ESTACION: CENTRO
LONGITUD: _____
LATITUD: _____



GRADUACION TOTAL A: 240 KM
HORIZONTAL B: 120 KM
C: 60 KM

DISTANCIA 7.5 KM

ALTITUD 1550
ALTURA DE ANTENA 30

GRADUACION TOTAL A: 4000 m
VERTICAL B: 1000 m
C: 250 m

ALTITUD 1550
ALTURA DE ANTENA 1.5

Figura 4.5: Perfil topográfico general.

ESTACION: LAS FUENTES
 LONGITUD: _____
 LATITUD: _____

PERFIL TOPOGRAFICO
 EN: 4/31

ESTACION: CERRO EL CUATRO
 LONGITUD: _____
 LATITUD: _____

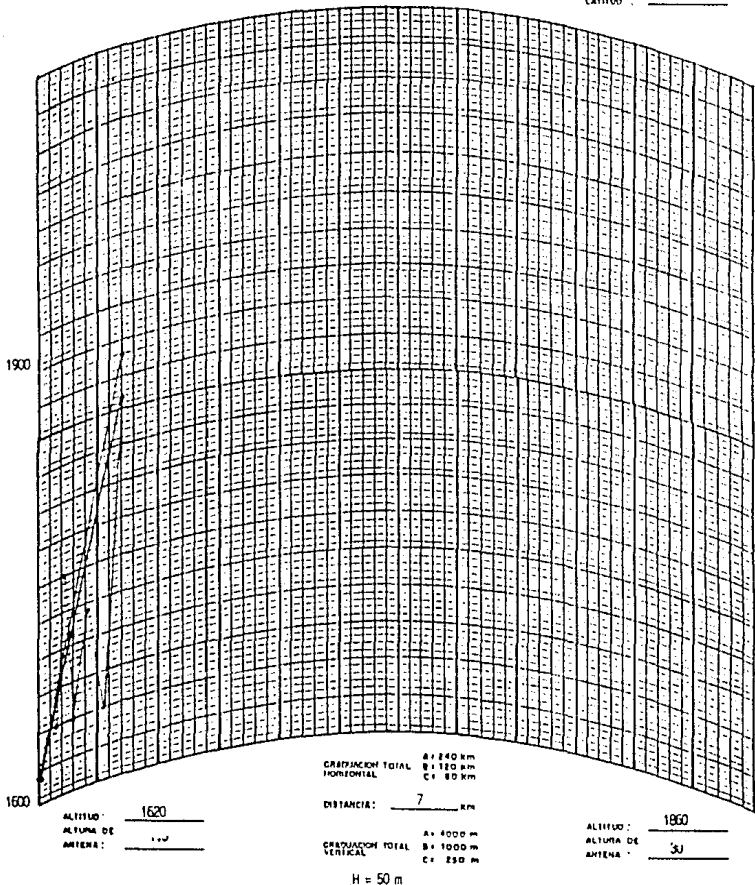


Figura 4.6: Perfil Cerro el Cuatro-Las Fuentes.

ESTACION : LAS FUENTES
LONGITUD : _____
LATITUD : _____

PERFIL TOPOGRAFICO
(K: 4/3)

ESTACION : U.A.G.
LONGITUD : _____
LATITUD : _____

Figura 4.7: Perfil Las Fuentes-U.A.G.

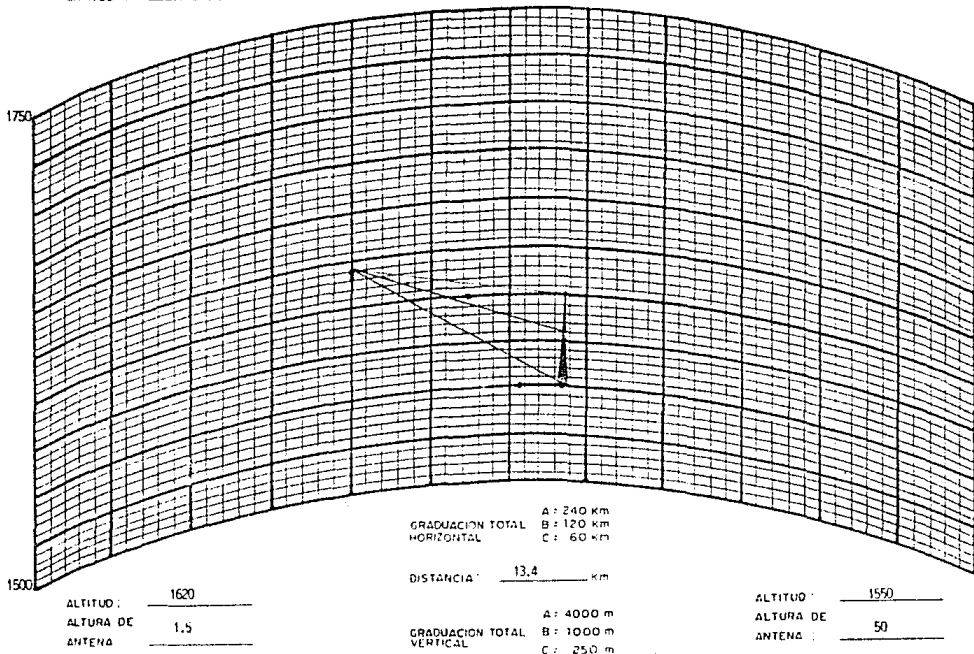


Tabla 4.6: Parámetros del sistema.

	Celda 1	Celda 2	Celda 3
Estación Base	Osorio	Cerro el Cuatro	U.A.G.
Potencia Tx w.	20	20	20
Pérdida Trayectoria dB	155.0861	155.0861	152.5860
Pérdidas Adicionales dB	5.39	5.39	6.23
Ruido Total dBm	123.206	123.206	123.206
Ganancia Antena dB	6	6	10
Preénfasis dB	6	6	6
S/N dB	20.7299	20.7299	26.39

4.2.6 Asignación de Frecuencias

Tal y como se mencionó en el capítulo 1, la F.C.C. asignó 2 bandas para ser usadas en los servicios de radiotelefonía móvil celular. De 825 a 845 Mhz para transmisión de móviles y de 870 a 890 Mhz para transmisión desde estaciones base.

La norma que se sigue es que todos los radiocanales que se transmiten en una estación deberán alojarse en una mitad de la banda y los radiocanales receptores en la otra mitad. El número de canales que pueden alojarse en un ancho de banda dado, dependerá del espectro de radiofrecuencia ocupado por la señal transmitida y de la selectividad que con un gasto razonable, pueda obtenerse de un receptor.

Esto es lo que se conoce como plan de frecuencias, el cual define para la banda dada y para una capacidad específica de canales telefónicos a transmitir, cuantos radiocanales pueden ser alojados dentro de dicha banda, la separación entre los citados radiocanales y las frecuencias idóneas.

Los objetivos de una adecuada asignación de frecuencias son entre otros:

- Facilitar los proyectos de conexión Nacional e Internacional
- Reducir los problemas de interferencia entre regiones fronterizas
- Establecer una disposición de canales de forma que sean compatibles varios sistemas en paralelo
- Obtener el mejor rendimiento posible del espectro de frecuencias
- Facilitar el diseño de equipos y la compatibilidad entre los manufacturados por diferentes empresas

Con el propósito de satisfacer los puntos anteriores, fue creada la carta de asignación de canales (figura 1.5) para el sistema AMPS. Esta carta permite ubicar las frecuencias de tal manera que la interferencia entre canales adyacentes sea mínima. Su aplicación se hace más evidente para sistemas avanzados (divididos).

Para el caso que nos atañe y dado que se requieren de ocho canales por Sector para satisfacer las necesidades de comunicación para los próximos 10 años (sección 4.2.2). Utilizando la parte de espectro asignada por la F.C.C. la asignación será la mostrada en la tabla 4.7.:

4.2.7 Interconexión con la red pública

Dentro del sistema celular, el elemento que sirve como coordinador central y controlador de la red así como interfaze entre ella y la red pública es la Oficina de Conmutación de teléfono Móvil (MTSO).

Además de requerir las técnicas estandares de conmutación necesarias para el intercambio de información entre ambas redes (pública y celular) la MTSO requiere de tecnología capaz de :

- Administrar los radiocanales asignados al sistema
- Coordinar los grupos de células y suscriptores móviles
- Mantener la integridad del sistema

Tabla 4.7: Asignación de Frecuencias

Frecuencias utilizadas en estación base				
	F_{TX} [Khz]	F_{RX} [Khz]	Canal	Señalización
Celda 1 Osorio	870030	825030	870750	825750
	870060	825060		
	870090	825090		
	870120	825120		
	870150	825150		
	870180	825180		
	870210	825210		
	870240	825240		
Celda 2 Cerro el Cuatro	870270	825270	870780	825780
	870300	825300		
	870330	825330		
	870360	825360		
	870390	825390		
	870420	825420		
	870450	825450		
	870480	825480		
Celda 3 U.A.G.	870510	825510	870810	825810
	870540	825540		
	870570	825570		
	870600	825600		
	870630	825630		
	870660	825660		
	870690	825690		
	870720	825720		

Las tres células que comprende el diseño celular presente, serán controladas por una central de conmutación ubicada en el Cerro el Cuatro. El hecho de tener en el mismo lugar una estación base y la central de conmutación ofrece ventajas evidentes.

A continuación se analiza la calidad de señal obtenida para los dos enlaces que intercomunicarán la central de conmutación con las estaciones base. En vista de que el enlace se hará via radio, los parámetros que intervienen en tal análisis serán los mismos que los empleados para el cálculo de pérdida por propagación.

Para el enlace Cerro el Cuatro - Presa Osorio :

$$L_T = 32.5 + 20 \log 12.7 + 20 \log 900 \quad (4.36)$$

$$L_T = 113.6609 \text{ dB} \quad (4.37)$$

$$\frac{S}{N} = 43 - (113.6609 + 15) - 5.39 - (-123.206) + 6 + 6 + 6 \quad (4.38)$$

$$\frac{S}{N} = 50.1551 \text{ dB} \quad (4.39)$$

Para el enlace U.A.G. - Cerro el Cuatro :

$$L_T = 32.5 + 20 \log 15.1 + 20 \log 900 \quad (4.40)$$

$$L_T = 115.1644 \text{ dB} \quad (4.41)$$

$$\frac{S}{N} = 43 - (115.1644 + 15) - 5.39 - (-123.206) + 10 + 6 + 6 \quad (4.42)$$

$$\frac{S}{N} = 52.65 \text{ dB} \quad (4.43)$$

Estos dos últimos enlaces permitirán mantener una comunicación continua entre la central de conmutación y las tres estaciones base. Para el cálculo de pérdida por trayectoria no se consideraron los métodos tratados anteriormente debido a que ahora se trata de enlaces puntuales. Por lo que el cálculo se hizo utilizando la forma tradicional (pérdida en el espacio libre, margen de desvanecimiento, corrección de curvatura de la tierra etc.).

Para la interconexión de la MTSO con la red pública, se hará un arreglo semejante al utilizado con un PBX. Es decir que dentro de la jerarquía

telefónica la MTSO ocupa un sitio equivalente a una central de conmutación local (clase 5). En cuanto a la señalización empleada para la entrada y salida de llamadas será tipo "Touch-tone" (señalización por multifrecuencia) o "Digital-pulse" (señalización por pulsos) [5].

4.2.8 Operación del sistema

La red de radiotelefonía celular diseñada para cubrir las necesidades de comunicación del sector eléctrico en el ciudad de Guadalajara, cuenta finalmente con 27 canales, 24 de voz y 3 de señalización (los más altos). Todos los móviles operando en esta zona estarán en sintonía continua con alguno de los 3 canales de señalización (el de nivel más alto) en espera de algún arribo o salida de llamada. El procedimiento realizado para procesar una llamada se explicó a detalle en el capítulo 3.

Mediante esta disposición de red, todos los vehículos operando en Guadalajara estarán en posibilidad de comunicarse entre sí o bien comunicarse a algún abonado fijo de la red telefónica pública.

REFERENCIAS

1. "Propagation Loss Prediction: A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel" Gilles y. Delisle, Jean Paul Lefevre, Michel Lecours, Jean Yves Chouinard. IEEE Transactions on Veh. Tech. Vol. VT-34 No. 2 May 1985
2. "A Comparison of Prediction Methods for 800 Mhz Mobile Radio propagation" John F. Aurand, Robert E. Post. IEEE Transactions on Veh. Tech. Vol. VT-34 No. 4 Nov. 1985
3. "Telecommunication Systems Design-Transmission Systems" M. T. Hills and B. G. Evans London, Allen and Unwin
4. "Handbook of Electronics Calculations" Kaufman and Seidman McGraw hill
5. "Mobile Telephone Switching Office" K. J. S. Chadha, C. F. Hunnicut, S. R. Peck and J. Tebes. The Bell System Technical Journal Vol 58 No. 1 January 1979

Capítulo 5

ESPECIFICACIÓN, MANTENIMIENTO Y COSTOS

5.1 ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO

En esta sección se tratara sobre la especificación y características de la red de telefonía móvil celular a nivel equipo y a nivel sistema. Como quedó ya estipulado, el sistema consta de tres partes fundamentales: El equipo móvil, el base y el centro de conmutación. Cada parte deberá cumplir con una serie de especificaciones técnicas que le permitirán cumplir con las normas internacionales de telefonía celular (apéndice 3). De la misma manera, se deberán indicar las características que deberá tener el equipo con el objeto de tener las modalidades requeridas por el sector eléctrico.

Dentro de la especificación de un equipo de telefonía móvil se deberán contemplar los siguientes cuatro puntos:

- Especificación técnica
- Especificación mecánica
- Especificación de suministro de potencia
- Especificación ambiental

La primera engloba la información necesaria tanto para diseño como para adquisición del equipo; esto a nivel técnico por ejemplo potencia, modulación, frecuencias de operación, impedancia, etc. (sección 5.2). La especificación mecánica detalla las características físicas del equipo (dimensiones, peso, tipo, etc.) así como su ubicación por componentes dentro del sistema.

La especificación de suministro de potencia, describe el nivel de voltaje requerido por el equipo, las distintas maneras de suministrar esa energía (baterías, generadores de combustión interna, generadores termomecánicos, solares, eólicos) y los factores que y los factores que determinarán que tipo de suministro utilizar.

Por último la especificación ambiental como su nombre lo indica, son los rangos de operación del equipo en lo que se refiere a: temperatura, humedad y presión atmosférica [1].

5.1.1 Equipo de Telefonía Móvil

Estación Móvil [2]

A nivel equipola estación móvil esta constituida por tres elementos:

- Unidad de control
- Transceptor
- Unidad lógica

La unidad de control funciona como interfaz entre el usuario y el sistema; i.e. incluye todo el equipo de control del aparato (indicadores, auricular, disco o teclado, bocinas, micofonos, etc.).

El transceptor provee al equipo de canales duplex que cumplen las características de asignación de frecuencia estipuladas por AMPS. La señal portadora para transmisión es modulada en fase desde la unidad de control y/o en FSK con información codificada. Tanto la señal de audio como la de señalización pueden estar presentes al mismo tiempo dependiendo el estado del equipo. La portadora pasa de aquí directamente a la antena para ser radiada a la estación base.

La unidad lógica es el control maestro del equipo móvil, sus principales funciones son:

- Decodificar ordenes recibidas de la estación base (Handoff, ajuste de nivel de potencia, entrada de llamada).
- Codificar información para ser enviada a la estación base (inicio y terminación de llamada, identificación de móvil).
- Proveer al usuario de información del sistema y ejecutar funciones de control, tales como sintonizar el receptor a la señal más fuerte dentro de una célula y detectar pérdidas de llamadas.

Estación Base [3]

Además de realizar funciones necesarias para el enlace de llamadas entre el teléfono móvil y la central de conmutación para consecuentemente llegar a la red pública, la estación base maneja distintas funciones semiautónomas bajo la dirección de la MTSO. Sus partes fundamentales son:

- Módulo de datos.
- Módulo de supervisión de línea.
- Módulo de radio.
- Módulo de prueba y mantenimiento

El módulo de datos engloba al equipo encargado de realizar la comunicación con la MTSO, control de voz y transmisión de datos al móvil, mantiene comunicación con la central de control del módulo de prueba y mantenimiento. Su equipo esta compuesto tanto de hardware como de controles programables.

El módulo de supervisión de línea fundamentalmente establece los niveles de audio y la trayectoria de voz por canal entre la MTSO y el módulo de radio para ser transmitidos al móvil o viceversa.

El módulo de radio consta de transmisores y receptores además de un amplificador de potencia, el cual entra en acción una etapa antes de la antena radiadora.

Y por último el módulo de prueba y mantenimiento esta compuesto de osciladores y divisores de frecuencia para generar la señal de reloj y el SAT. En general este módulo realiza una revisión constante del equipo de radio de la estación base, de los circuitos de transmisión en RF y los enlaces de la estación base con la MTSO.

Centro de Conmutación (MTSO)

Es la interfaz entre el sistema de radiotelefonía celular y la red telefónica pública. Basicamente sus objetivos son dos: controlar las llamadas de los móviles y controlar las actividades de mantenimiento automático del sistema. Esta formado por:

- Terminal de datos
- Procesador
- Red de conmutación

5.1.2 Especificaciones y Características

5.1.2 Especificaciones y Características

ESPECIFICACION DEL EQUIPO	
GENERAL	
Tipo de modulación	FM Banda Angosta
Modo de operación	Duplex
Rango de frecuencias	800-900 Mhz
Número de canales	9
Espaciamiento entre canales	30 KHz
Espaciamiento duplex	45 Mhz
Ancho de banda del canal	30 KHz
Índice de modulación	0.6
Estabilidad de la frecuencia	5 ppm
Característica de los filtros	24 dB/oct
Fuente de alimentación	110-220 V AC, 60 Hz ó 12 V DC (Móvil)
Temperatura de operación	-10°C a +60°C
Ciclo de trabajo	Continuo
Compandeo	Silabico
Clipping	10 dB
TRANSMISOR	
Potencia de salida	20 Watts
Desviación de la frecuencia	+,- 5 KHz
Pre-énfasis	6 dB/oct
Impedancia de salida	50 ohms
RECEPTOR	
Sensibilidad	-97 dBm
Selectividad	-90 dB [-70 dB]
Figura de ruido	6 dB
De-énfasis	-6 dB/oct
Rechazo de imagen y espureas	-100 dB [-70 dB]
Intermodulación	-80 dB [-70 dB]
Silenciamiento	6 dB a 20 dB SINAD
Impedancia de entrada	50 ohms
ANTENA	
Ganancia	3, 6 y 10 dB
Polarización	Vertical
Campo eléctrico máximo	≤ 2 μV/m
Patrón de radiación	Omnidireccional
Impedancia de entrada	300 ohms

ESPECIFICACION DEL SISTEMA

Calidad de la señal S/N	18 dB
Potencia del transmisor	20 Watts
Sensibilidad del receptor	-97 dBm
Tipo de transmisión	Análogica, Digital
Tipo de señales	Voz, Datos
Clase de emisión	F3E
Modo de comunicación	Asincrono
Rango de frecuencias	Ver capítulo 4
Número de canales	24 voz, 3 señalización
Modo de operación	Duplex
Area de cobertura	439 Km ²
Número de celdas	3
Radio de la celda	7.5 Km
Forma de la celda	Hexagonal
Porcentaje de cobertura	100 %
Subdivisión de celdas	No
Número de usuarios	224
Número de MTSO's	1
Número de bases	3
Número de móviles	145
Deficiencia anual	2 %
Grado de servicio	20 %
Tráfico del sistema	11.20 E
Tráfico por celda	3.55, 3.65, 4 E
Tráfico por usuario	0.05 E
Tiempo promedio llamada	3 minutos
Promedio transmisiones por hora	1 (por usuario)
Confiabilidad	≥ 90%
Margen de desvanecimiento	15-37 dB
Ruidos (N_T , N_F)	-129.2 dBm, 6dB
Interferencia Cò-canal, canal adyacente	≥ 18 dB [70 dB]
Pérdidas componentes, conectores	≤ 1.5 dB

ESPECIFICACION DEL SISTEMA

<i>Tipo de terreno</i>	Plano (cte=1)
<i>Tipo de entorno</i>	Urbano
<i>Constante de propagación</i>	3.6
<i>Tipo de antena</i>	Arreglo colineal
<i>Ganancia de la antena</i>	Ver tabla 4.6
<i>Impedancia de la antena</i>	300 ohms
<i>Acoplador de impedancias</i>	300/50 ohms
<i>Altura de la antena</i>	50 metros
<i>Tipo de torre</i>	Autoportada
<i>Tipo de cable</i>	Heliac 5-50
<i>Atenuación del cable</i>	0.042 dB/m
<i>Impedancia del cable</i>	50 ohms
<i>Plan asignación de frecuencias</i>	Ver tabla 4.7
<i>Ubicación (MTSO, Bases)</i>	Capítulo 4
<i>Topología de la red</i>	Estrella
<i>Regulaciones</i>	Apéndice 3
<i>Probabilidad de error</i>	10^{-6}
<i>Desviación estandar</i>	6 dB
<i>Temperatura</i>	290°K
<i>Calidad de transmisión (SLR, RLR, OLR)</i>	
<i>Razón lado cercano-lado lejano</i>	17 dB
<i>Tipo de acceso</i>	FDMA

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO

<i>Sintetizado</i>	Si
<i>Programable</i>	Local, cable
<i>Comunicación privada</i>	Mezclado
<i>Reasignación de canales</i>	Flexible
<i>Transmisión de datos</i>	FSK
<i>Transmisión de voz digitalizada</i>	Opcional
<i>Control adaptivo potencia transmisor</i>	Opcional
<i>Multicanales</i>	Si
<i>Unidad tipo enchufable y desprendible</i>	Opcional
<i>Capacidad de operación a manos libres</i>	Opcional
<i>Control remoto</i>	Opcional
<i>Indicación de llamada</i>	Opcional
<i>Implementación digital</i>	Opcional

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA	
Tipo de servicio	Telefonía
Tipo de comunicación	Fijo-móvil, móvil-móvil
Comunicación privada	Si
Utilización infraestructura existente	Si
Implantación por etapas	Por celdas según prioridades
Máxima cobertura	100 %
Operación	Local por sector o celda
Capacidad de crecimiento	A 10 años Cap. 4
Sectores independientes	Si
ESPECIFICACION DE EQUIPO DIGITAL	
Velocidad de transmisión	10000 b/s
Probabilidad de error (BER)	10^{-6}
Esquema de modulación	FSK
Tasa de error del sistema	10^{-3} sin corregir errores
Detección y corrección de errores	BCH. Decisión mayoritaria
Tipos de códigos	Manchester
Multiplexaje (entrelazado)	FDM (No)
Señalización	Canal común o asociado
Sincronización	Bit por bit, palabra por palabra
Conmutación	MTSO
Formato de la trama	Figura 3.21
Cifrado	No

5.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

Uno de los factores más importantes que permiten tasar la eficiencia de un sistema de comunicaciones es la confiabilidad. Particularmente para los sistemas que abarcan una gran extensión geográfica es de sumo interés contar con una alta confiabilidad tanto a nivel componente como a nivel sistema.

Esta necesidad origina el desarrollo de una disciplina (Ingeniería de Confiabilidad) encaminada exclusivamente al estudio de confiabilidad. Esta rama ofrece una serie de conceptos y procedimientos que permiten la de-

scripción cuantitativa y la predicción de confiabilidad, todo esto apoyado en leyes estadísticas.

El mantenimiento preventivo y correctivo entendidos como procedimientos de ajuste, limpieza y revisión general para el primero y métodos de diagnóstico y corrección de fallas para el segundo, esta en función de los parámetros estipulados por los conceptos de confiabilidad tales como: Razón de Falla (λ_F), Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Promedio de Reparación (MTTR), etc.

5.2.1 Conceptos Basicos de Confiabilidad

Razón de Falla (λ)

Se define como $\lambda = \frac{n}{NT}$ donde:

λ = Razón de Falla

N = Muestras Observadas

n = Número de Fallas

T = Tiempo de Observación

El valor típico de razón de falla es de 10^{-9} h.

Las causas que provocan las fallas en algún componente y consecuentemente para sistemas son:

- Deficiente control de calidad
- Daños durante la instalación y el transporte
- Uso inadecuado durante la fase de inicio del sistema

Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF)

El MTBF es el recíproco de la razón de falla; es decir $MTBF = \frac{1}{\lambda}$
Las unidades del MTBF esta dada en horas; esta cantidad no indica que

cada elemento operará tales horas antes de fallar, sino que una falla ocurre cada cierto número de horas-componente en promedio.

Tiempo Promedio De Reparación (MTTR)

El MTTR indica el tiempo promedio que existe entre la aparición de la falla y la restauración del servicio. El MTTR implica el tiempo de detección de la falla, tiempo de viaje, localización y reemplazo de equipo (incluyendo el tiempo de espera de repuestos). Algunos de los factores que intervienen en el MTTR son: mantenimiento del equipo, sistemas de supervisión, provisión de repuestos y factores geográficos. En este caso los valores típicos variarán de acuerdo a las características de la estación fallada.

5.2.2 Disponibilidad e Indisponibilidad del Sistema Debido a Fallas

La forma de medir la confiabilidad en un sistema está dada por la disponibilidad e indisponibilidad del sistema. La primera se define como:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5.1)$$

La segunda es:

$$N = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \quad (5.2)$$

Ambos conceptos como es de esperarse se relacionan mediante:

$$N = 1 - A \quad (5.3)$$

Dado que numéricamente es más práctico trabajar con indisponibilidades, generalmente se usa este dato para caracterizar la confiabilidad de un sistema. Entonces la indisponibilidad se define como la fracción de tiempo durante la cual esta fuera de servicio.

La indisponibilidad de un sistema puede ser estimada de la siguiente manera, ya sea para sistemas en serie o en paralelo.

Para sistemas en serie la indisponibilidad total será la suma de las indisponibilidades de cada componente, es decir:

$$N_S = N_1 + N_2 + \dots + N_n \quad (5.4)$$

Para sistemas en paralelo la indisponibilidad total será el producto de las indisponibilidades de los componentes.

$$N_S = N_1 \cdot N_2 \dots N_n \quad (5.5)$$

A su vez el cálculo de la indisponibilidad de cada componente se obtiene a partir de datos tabulados de sus razones de falla. por ejemplo la razón de falla para diodos, transistores y capacitores electrolíticos es de 10^{-8} hrs, para fuentes de poder es de 10^{-6} hrs, para transeptores de microrondas es de 10^{-5} hrs etc.

5.2.3 Número de Repuestos [1] [4]

El número de repuestos necesarios para garantizar el funcionamiento continuo del sistema se calcula en base a distribuciones probabilísticas asumiendo ciertas hipótesis. Básicamente existen tres métodos de cálculo:

Método A.- Los repuestos son substituidos al final del tiempo de operación T. n este caso se asume una distribución de Poisson para fallas, por lo que la ecuación que nos dará el número de repuestos es:

$$L = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{NT}{MTBF}\right)^k}{k!} e^{-\frac{NT}{MTBF}} \quad (5.6)$$

Donde:

- S = Número de repuestos
 N = Número de unidades en operación en el sistema en estudio
 T = Tiempo de operación en el que el número de repuestos es bajo un intervalo de riesgo definido
 MTBF = Tiempo promedio entre fallas
 L = Intervalo de confianza ($90\% \leq L \leq 99\%$)

Método B.- Los repuestos son substituidos tan pronto como las partes falladas son reparadas. El calculo se hara asumiendo las siguientes hipotesis:

- Las fallas y las reparaciones ocurren en condiciones de equilibrio estadístico.
- Las partes falladas son llevadas a reparación de inmediato.
- Cuando los repuestos no están disponibles, ningún procedimiento especial de abastecimiento se prevé y las partes en reparación deben esperar.

El número de repuestos será:

$$S = \frac{\log(1 + \frac{T}{R})}{\log(1 + \frac{MTBF}{NR})} \quad (5.7)$$

Donde:

R = Tiempo promedio de reparación.

Método C.- Los repuestos son substituidos tan pronto como las partes falladas son reparadas y las reparaciones son independientes. Las hipotesis asumidas en este método son las mismas que las del anterior más la que a continuación se presenta:

- Las partes falladas son enviadas a reparación de inmediato y cualquiera es reparada y enviada de regreso independientemente de las otras.

El número de repuestos a suministrar es:

$$P = \frac{\frac{NR}{K!} \frac{S+1}{(S+1)!}}{\sum_{K=0}^{S+1} \frac{NR}{K!}} \quad (5.8)$$

Donde:

P = Probabilidad de que los repuestos sean suficientes.

5.2.4 Mantenimiento

El mantenimiento en una red de comunicaciones, implica una serie de acciones llevadas a cabo por los operadores y por el mismo sistema con el afán de corroborar y supervisar el funcionamiento óptimo de la red.

Se pretende que las personas involucradas en estas tareas, no necesariamente tengan que conocer a fondo detalles de diseño (software, hardware, estructura de datos) sino que se guíen por indicadores para que una vez detectada alguna irregularidad, su trabajo se limite a seguir las instrucciones marcadas en los manuales de mantenimiento correctivo y preventivo. Dichos manuales, proporcionados por el diseñador del equipo son la herramienta vital para la reparación y prevención de fallas. Su principal función es establecer el diagnóstico de la falla.

El manual de mantenimiento preventivo incluye entre otras cosas: los intervalos de servicio (hrs), procedimientos de inspección manual, detección de la degradación de los parámetros del equipo, etc.

El manual de mantenimiento correctivo será útil una vez detectada alguna falla. Este, en primer lugar deberá contener una lista con las alarmas e indicadores que se relacionen con el tipo, localización e importancia de la falla; mencionará rutinas de diagnóstico de fallas así como procedimientos de corrección.

Cada vez que se presenta una falla, conviene registrarla en un reporte de falla, el cual contiene: fecha de la falla, localización de la falla, tipo de falla, tiempo de reparación, componente fallado, acción tomada, personal involucrado, equipo y repuestos usados. Esto permitirá formar una estadística de

fallas y de alguna manera ayudar a la predicción de fallas.

Otro factor importante que afecta la confiabilidad de una red es la correcta operación de la misma, además de la elección del equipo usado. Deberá buscarse los componentes con una razón de falla muy baja (para equipos móviles $\lambda = 0.3$ fallas por año aproximadamente).

5.3 EVALUACION ECONOMICA

Una de las últimas etapas en la elaboración de un proyecto deberá ser sin lugar a dudas, un estudio económico donde se determine el grado de rentabilidad del sistema diseñado. Este estudio deberá partir de las características técnicas pretendidas, el costo de instalación, operación, mantenimiento y de ser el caso, el tiempo de recuperación de la inversión.

Para el caso de un sistema de radiotelefonía móvil celular, las principales características que deberá tener el servicio a nivel sistema son:

- Buena calidad de transmisión
- Buena calidad de servicio
 - Disponibilidad
 - Confiabilidad
- Servicio duplex
- Rentabilidad

Dichas características se consiguen al establecer un plan de trabajo adecuado y que cubra en forma gradual los objetivos del sistema. En forma resumida el plan a seguir es:

- Determinar la demanda del servicio celular para el área en estudio (Necesidades y Requerimientos de comunicación).

- Desarrollo del plan ingenieril (Consideraciones Teóricas).
- Integración del estudio de demanda con el plan ingenieril (Diseño del sistema).
- Obtener datos del equipo (Técnico y Económico) de proveedores.
- Analizar las consecuencias financieras de los pasos precedentes.

Por lo tanto en las secciones siguientes se analizarán las implicaciones económicas que atañen al diseño.

5.3.1 Proveedores

Como se mencionó en el capítulo 1 cada sistema celular que se encuentra en operación en el mundo, goza de alguna característica especial que lo hace ser representativo de su país aunque los principios de operación sean los mismos. Por consiguiente tendrán proveedores (fabricantes del equipo) que pretenderán ceñirse a los requerimientos particulares de cada administración, sin que esto los excluya del total de administradores de sistemas celulares.

Se puede mencionar una lista extensa de fabricantes de equipo en el mundo, ya que el estado en el que se encuentra la telefonía celular por su aceptación, hace que toda empresa de telecomunicaciones considere atractivo el fabricar su propio equipo. Entre los fabricantes más representativos se tiene:

SIEMENS	(Alemania)
NOKIA-MOBIRA	(Finlandia)
MOTOROLA	(E.U.)
ERICSSON	(Suecia)
ALCATEL	(Francia)
ITALTEL	(Italia)
TRT	(Francia)
LCT/TRT	(Francia)
TEKADE	(Alemania)
SEL/AEG	(Alemania)
BOSH/ANT	(Alemania)
TELEVERKET	(Nordicos)
ELAB	(Nordicos)

A la fecha no se cuenta aun con un equipo celular estándar, es decir que cada fabricante hace su equipo con sus propias características, lo que implica tener una gran variedad de costos. La tabla 5.1 muestra la diferencia tan notoria en precios de aparatos para unidades móviles. La diferencia entre el más barato y el más caro es de 4853 USD. Lo que a la paridad actual (1 USD=MN 2450) son MN 11'890'000.0. En México las empresas que cuentan con más aceptación, porque cuentan con una infraestructura ya establecida en el país entre otras cosas son, en ese orden:

- ERICSSON
- ALCATEL/INDETEL
- MOTOROLA
- SIEMENS

Dado que Ericsson ha sido el proveedor de más del 60% de equipo telefónico en México y además es el proveedor de equipo para el sistema celular de la C.D. de Tijuana (a punto de entrar en operación) se decidió hacer el estudio de evaluación en función a su equipo; el cual será un buen punto de partida para estimar el costo del sistema.

Tabla 5.1: Precios de unidades móviles (USD)

E.U.	836.7
Gran Bretaña	1171.4
Suecia	2510.2
Francia	4351
Italia	4518.3
Alemania	5689.8

5.3.2 Costos

El estudio de costos para la puesta en marcha del sistema celular, se puede dividir en tres partes.

- Costos de construcción
- Costos de operación
- Estudio de rentabilidad (flujo de inversiones) cuando lo amerite

Las tablas 5.2 y 5.3 muestran los conceptos que deberá englobar los costos de construcción y operación respectivamente, así como los valores típicos de ellos. Los resultados se basan en un estudio realizado por la TDS (Telephone and Data System) a 7 mercados diferentes [5]. Los valores presentados son el promedio de los 7.

Para la tercera parte que es el estudio de rentabilidad, aunque para este diseño no se puede tasar, se mencionara algunos factores a considerar. La razón por la que se puede prescindir de este estudio es porque este sistema no sera de aplicación al público en general sino que esta restringido al sector eléctrico. O bien viendolo en un sentido amplio, este servicio será de caracter particular. Los conceptos a considerar son:

- Indices inflacionarios

Tabla 5.2: Costos de Construcción (USD)

Concepto	Costo
Terreno	18674
Estación base	106083
Oficinas	0
MTSO	219143
Equipo para estaciones base	248536
Antenas y cables	15000
Equipo de prueba	24857
Transmisión	36380
Vehículos	30000
Repuestos, Mantenimientos y Herramientas	20000
Muebles para oficina y equipo	40000
Papelería	0
Capacitaciones	6857
Ingeniería e Instalación	67286
Alimentación y Baterías	27357
Contingencias	88017

Tabla 5.3: Costos de Operación (USD)

Concepto	Costo
Administración (Global y Técnica)	35000
Secretarías	21000
Ventas y mercadotecnia	20000
Técnicos	0
Apoyo administrativo	21000
Costo de circuitos telefónicos	46857
Renta de la estación base	0
Sistema de alumbrado y clima	5714
Publicidad y otras ventas	73050

- Costo de servicio a clientes por unidad
- Rentas
- Salarios
- Servicio a clientes
- Anuncios
- Costo de circuitos telefónicos
- Rentas de estaciones base
- Utilidades

Con esto se pretende dar una idea de los costos que implica la puesta en marcha del sistema y puntualizar los conceptos que se habrán de considerar para una estimación real del costo.

5.3.3 Estimado de Costos del Sistema

Como se menciona en la sección 5.3.1 se tomará el equipo Ericsson como caso de estudio para la evaluación económica del sistema.

El costo unitario de los equipos para el sistema celular se da a continuación. Los precios están dados en miles de dólares.

Concepto	Costo
Centro de conmutación (MTSO)	1104.69
Estación base	0589.38
Unidades móviles	0002.027
Herramientas	0014.25
Equipo de fuerza (oficina)	0029.49
Torre	0006.71
Baterías	0006.22
<i>Instalación</i>	
MTSO	0068.75
Estación base	0040.109
Equipo de fuerza (oficina)	0005.3

5.3.3.1 Modificaciones a los precios

La lista de precios proporcionada arriba es susceptible de cambios si el tiempo de compra es distante a la fecha de elaboración de este documento. Para este caso, Ericsson da una ecuación que permite predecir el precio del equipo a un determinado tiempo.

$$P = P_0(.10 + .60(\frac{S_i}{S_{i0}}) + .30(\frac{M_i}{M_{i0}})) \quad (5.9)$$

donde:

P = Precio final del equipo correspondiente.

P₀ = Precio base proporcionado en esta información.

S_i = Índice de costos de mano de obra incluyendo impuestos sobre la fuerza de trabajo relativo al área de producción sueca.

S_{i0} = Índice S_i arriba indicado vigente al mes en curso.

M_i = Índice de precios para abastecimiento domestico relativo al insumo de mercancías de la producción sueca.

M_{i0} = Índice M_i arriba indicado vigente para el mes en curso.

Los valores anteriores variarán también de acuerdo a la paridad que hubiera en relación al Peso mexicano y a las variaciones en los derechos aduanales.

Finalmente el costo del sistema diseñado en miles de dolares será:

Cantidad	Concepto	Costo
001	Centro de conmutación	1104.69
003	Estaciones base	1768.14
224	Unidades móviles	0454.04
001	Herramientas	0014.25
001	Equipo de fuerza	0029.49
003	Torres	0020.13
002	Baterías	0012.44
<i>Instalación</i>		
001	Centro de conmutación	0068.75
003	Estaciones base	0120.32
001	Equipo de fuerza	0005.3
* GRAN TOTAL		3'597.55 *

5.3.4 Jerarquización del Sector Eléctrico

La jerarquización de la red de radio para las dependencias de CFE en el ámbito geográfico de la DDJ se divide en Operación y Administración.

Los niveles para cada caso son:

Operación:

- Nivel A
 - CCAOC Jefe Area de Control Occidental
 - DDJ Gerente de distribución
 - RGHSB Superintendente RGHSB
 - RTOC Superintendente General Regional
- Nivel B
 - CCAOC Superintendente de Operación
 - DDJ Subgte. Distribución

- RGHBS Jefe de Departamento Regional Generación
- RTOC Supttes. Regionales de Especialidad
- Nivel C
 - CCAOC Jefes de Departamento
 - DDJ Jefes de Operación Area
 - RGHBS Supttes. de Centrales Generadoras
 - RTOC Supttes. de Especialidad
- Nivel D
 - CCAOC Resto
 - DDJ Ingenieros de Campo de Especialidades
 - RGHBS Ingenieros de Campo y Cuadrillas
 - RTOC Inspectores de transmisión y cuadrillas

Administración:

- Nivel A
 - Gerente de Distribución
 - Subgerente Comercial
 - Administrador General
 - Supintendentes Zona de Distribución
- Nivel B
 - Deptos. Comerciales de Zonas
 - Administradores de Zonas y Sectores
- Nivel C
 - Administradores de Agencias

- Cuadrillas de Conexiones

El plan de equipamiento del sistema podra realizarse atendiendo a los niveles o bien por celdas.

REFERENCIAS

1. "Red de Comunicaciones por Radio para la División de Distribución Jalisco de la C.F.E., Cuarto Reporte de Avance" Grupo de Radio del Departamento de Comunicaciones. Instituto de Investigaciones Eléctricas
2. "Cellular Mobile Telephone Equipment Specification" Bell Atlantic Mobile Systems Inc.
3. "Cell Site Hardware" N. Ehrlich, R.E. Fisher and T.K. Wingard The Bell System Technical Journal Vol. 58 No. 1 January 1979
4. "Propuesta para la Red de Comunicaciones por Microondas para la C.F.E." Telettra Industrial S.A. 1983
5. "Chasing a Rural Cellular Rainbow" Leroy T. Carlson Jr., H Donald Nelson, Gary L. Henshue. Telephony Nov. 1984

Capítulo 6

CONCLUSIONES

La presente propuesta de diseño de un sistema de radiotelefonía móvil celular tuvo como objetivo el mostrar una de tantas alternativas que pueden existir para solucionar el problema de comunicación en el Sector Eléctrico de nuestro país. La Telefonía Celular que en México empieza a tomar un gran auge sobre todo dentro del sector público, es una de las mejores alternativas que se tiene como opción de telecomunicación. Aunque la aplicación que se dio en este trabajo, fue encaminado a una población de usuarios relativamente pequeña, se pueden apreciar las ventajas que acarrea esta técnica.

A lo largo de este trabajo, se sentaron las bases ingenieriles de los sistemas celulares así como un procedimiento ordenado y metódico del diseño de un sistema. Se presentaron alternativas de cálculo para las diferentes fases del diseño, discutiéndose y eligiendo la apropiada. Por lo que además de proponer una solución a un problema real, proporciona una metodología de diseño de un sistema de radiotelefonía celular.

Por último para el caso del sector eléctrico que como se mencionó esta dividido por regiones y un par de sistemas aislados, se podría hablar de ocho pequeños sistemas celulares interconectados mediante la red telefónica pública o bien en forma independiente (satélite p.e.), con lo que se tendría una red celular global para todo el país.

Las implicaciones tanto técnicas como económicas se tendrían que estudiar a fondo, aunque con base en el diseño desarrollado se puede adelantar que ciertamente el costo es elevado pero se compensa en mucho con la calidad y disponibilidad del servicio. Tecnicamente hablando el sistema celular esta siendo regulado por los organismos internacionales correspondientes, por lo que no tendrá dificultades de estandarización. En cuanto al crecimiento, dado que son poblaciones pequeñas y con un crecimiento muy moderado, las técnicas descritas son suficientes para soportarlo. Si se llegara a rebasar el límite marcado, existen alternativas como la digitalización del servicio, lo que implica un aumento en la capacidad del sistema.

APENDICE 1

LISTADO DE ARCHIVOS Y NOMENCLATURA DE LA BASE DE DATOS D.D.J.

Structure for database: A:\CAR_SERV.DBF

Number of data records: 492

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	NO_EQ_RAD	Character	3		N
3	INCREMENTO	Character	4		N
4	NO_PRO_LLA	Character	3		N
5	DURAC_PROM	Character	3		N
6	DISP_EQ	Character	3		N
7	DISP_CANAL	Character	3		N
8	T_FALLA_R	Character	3		N
9	T_FALLA_D	Character	3		N
10	T_REP_REAL	Character	3		N
11	T_REP_DES	Character	3		N
12	CONFIA	Character	5		N
13	EFICIENCIA	Character	5		N
14	MANTO_PREV	Character	1		N
15	ULTIMO_MAN	Character	8		N
16	REALIZADO	Character	30		N
17	OBS_M_P	Character	60		N
Press any key to continue...					
18	MANTO_CORR	Character	1		N
19	ULTIMOS_3	Character	30		N
20	FALLAS_EN	Character	60		N
21	ELEMENTOS	Character	60		N
22	OBS_M_C	Character	59		N
** Total **			371		

Structure for database: A:\SERVICIO.DBF

Number of data records: 492

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	TIPO_SERV	Character	30		N
3	PRIORIDAD	Character	8		N
4	INF_TRANS	Character	20		N
5	FUN_USUAR	Character	60		N
6	COMUN_CON	Character	60		N
7	NECESIDAD	Character	60		N
8	FACILIDAD	Character	30		N
9	INTERFEREN	Character	60		N
10	CONDICION	Character	60		N
11	FUTURO	Character	20		N
12	OBSERVA	Character	118		N
** Total **			587		

Structure for database: A:\ESTACION.DBF

Number of data records: 492

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	30		N
2	NUM_ESTAC	Character	20		N
** Total **			51		

Structure for database: A:\UBICA.DBF

Number of data records: 137

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	LONGITUD	Character	11		N
3	LATITUD	Character	11		N
4	ASNM	Character	4		N
5	MAPA_TOFOG	Character	9		N
6	NO_CARRET	Character	4		N
7	TRANO	Character	25		N
8	ENTRONQUE	Character	4		N
9	CAN_ACCESO	Character	11		N
10	LONG_CANIN	Character	4		N
** Total **			104		

Structure for database: A:\MOVIL.DBF

Number of data records: 355

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	MARCA	Character	20		N
3	MODELO	Character	4		N
4	NO_MOVIL	Character	8		N
5	FREC_LOCAL	Character	7		N
** Total **			60		

Structure for database: A:\EQUIPO.DBF

Number of data records: 492

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	MARCA	Character	20		N
3	MODELO	Character	20		N
4	NO_SERIE	Character	15		N
5	NO_INVENT	Character	15		N
6	AMB_OPERA	Character	30		N
7	AND_OPERA	Character	4		N
8	HORARIO	Character	5		N
9	EQ_MULTI	Character	25		N
10	TIFO	Character	20		N
11	LONGITUD	Character	4		N
12	SIST_ACOPL	Character	30		N
13	FERD_ACOPL	Character	3		N
14	TIFO_ANT	Character	25		N
15	POLAR	Character	10		N
16	AZIMUT	Character	6		N
17	ALT_BASE	Character	3		N
Press any key to continue...					
18	ARREGLO	Character	25		N
** Total **			281		

Structure for database: A:\ALIMENT.DBF

Number of data records: 137

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	ALIMEN_RED	Character	3		N
3	NO_CIRCUIT	Character	10		N
4	FALTA_ALIM	Character	1		N
5	RESPALDO	Character	30		N
6	BANCO_BAT	Character	1		N
7	MARCA	Character	20		N
8	TIPO	Character	20		N
9	VOLTAJE	Character	3		N
10	CAPACIDAD	Character	4		N
11	CARGADOR	Character	1		N
12	MARCA_CARG	Character	20		N
13	MODELO	Character	20		N
14	NO_INVENT	Character	8		N
15	INVERSOR	Character	1		N
16	MARCA_INV	Character	20		N
17	MODELO_INV	Character	20		N
Press any key to continue...					
18	NO_INV_INV	Character	8		N
19	VOLT_SAL	Character	3		N
20	SIST_FOTO	Character	1		N
21	MARCA_SIST	Character	20		N
22	VOLT_SIST	Character	3		N
23	CAPAC_SIST	Character	4		N
24	MODULO	Character	15		N
25	VOLT_MOD	Character	3		N
26	NO_MODULOS	Character	4		N
27	ACCESORIOS	Character	30		N
28	IMPEDANCIA	Character	5		N
29	IMP_HACIA	Character	10		N
30	RED_TIERRA	Character	1		N
31	VALDR_OHMS	Character	6		N
32	PARARRAYOS	Character	1		N
** Total **			317		

Structure for database: A:\SUSTENTA.DBF

Number of data records: 137

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	TIPO	Character	20		N
3	SECCION	Character	20		N
4	AUTOSOPORT	Character	1		N
5	NO_RETEN	Character	3		N
6	CAL_RETEN	Character	6		N
7	ALT_BASE	Character	3		N
8	ALT_TOT_SU	Character	3		N
9	DIST_BA_TO	Character	3		N
10	NO_LUCES	Character	2		N
11	FINT_REGLA	Character	1		N
** Total **			83		

Structure for database: A:\AUXILIAR.DBF

Number of data records: 137

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	CONSOLA	Character	1		N
3	MARCA	Character	20		N
4	MODELO	Character	20		N
5	NO_INVENT	Character	8		N
6	MICROFONO	Character	1		N
7	MARCA_MIC	Character	20		N
8	MODELO_MIC	Character	20		N
9	TIPO	Character	20		N
10	CABEZA_CON	Character	1		N
11	MARCA_CAB	Character	20		N
12	MODELO_CAB	Character	20		N
13	TIPO_CAB	Character	20		N
14	KONI_AUTO	Character	1		N
15	MARCA_MON	Character	20		N
16	MODELO_MON	Character	20		N
17	LI_CON_REM	Character	1		N
Press any key to continue...					
18	TIPO_LINEA	Character	20		N
19	LONGITUD	Character	4		N
20	CAL_CONDUC	Character	8		N
** Total **			266		

Structure for database: A:\CARACTER.DBF

Number of data records: 2
Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	MODELO	Character	20		N
2	BW_FI	Character	2		N
3	MODULACION	Character	5		N
4	DESU_FREC	Character	5		N
5	POT_RF_TX	Character	3		N
6	SENSIB_RX	Character	4		N
7	CAP_CANAL	Character	4		N
8	RANGO_FREC	Character	9		N
9	FREC_TX_RX	Character	15		N
10	SEP_CANAL	Character	5		N
11	SEP_TX_RX	Character	5		N
12	MAN_OPERA	Character	30		N
** Total **			108		

Structure for database: A:\LINEA_TX.DBF

Number of data records: 0
Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	TIFO	Character	20		N
2	MARCA	Character	20		N
3	ATENUACION	Character	4		N
4	IMPEDANCIA	Character	4		N
** Total **			49		

Structure for database: A:\RADIADOR.DBF

Number of data records: 0

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	TIPO_ANT	Character	25		N
2	MARCA	Character	20		N
3	NO_ELEMENT	Character	3		N
4	LONG_DIPOL	Character	4		N
5	GANANCIA	Character	3		N
6	IMPED_ENT	Character	4		N
7	ANCHO_HAZ	Character	6		N
** Total **			66		

Structure for database: A:\DATOS.DBF

Number of data records: 492

Date of last update : 15/04/88

Field	Field Name	Type	Width	Dec	Index
1	NUM_ESTAC	Character	20		N
2	DEPENDEN	Character	10		N
3	ESTADO	Character	7		N
4	ZONA	Character	15		N
5	C_DISTRIB	Character	15		N
6	AGENCIA	Character	30		N
7	UBICACION	Character	60		N
8	TIPO_RADIO	Character	11		N
9	NO_REG_SCT	Character	15		N
10	ENLACE_CON	Character	60		N
11	DIST_ESTAC	Character	7		N
12	RESPONSAB	Character	25		N
13	CANALES	Character	10		N
14	SEGURIDAD	Character	30		N
** Total **			316		

APENDICE 2

TABLAS DE ERLANG B

(Offered Load)		A In Erl											
N	B (Blocking Probability)												
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
1	0001	0002	0003	0005	0010	0020	0030	0040	0050	0060	0070	0081	0091
2	0112	0202	0249	0321	0458	0653	0896	0937	105	116	126	135	144
3	0868	110	127	152	194	219	289	321	349	374	397	418	437
4	235	282	315	362	439	535	602	656	701	741	777	810	841
5	452	527	577	649	762	900	994	107	113	119	124	128	132
6	728	832	900	996	118	133	145	154	162	169	175	181	186
7	105	119	127	139	158	180	195	206	216	224	231	238	244
8	142	158	169	183	205	231	248	262	273	283	291	299	306
9	183	201	213	230	256	285	305	321	333	344	354	363	371
10	226	247	261	280	309	343	365	382	396	408	419	429	438
11	272	296	312	333	365	402	427	445	461	474	486	497	507
12	321	347	365	389	423	464	490	511	528	543	555	567	578
13	371	401	419	445	483	527	556	579	596	612	626	639	650
14	421	456	476	503	545	592	623	647	666	683	698	712	724
15	478	512	534	563	608	658	691	717	738	756	771	786	799
16	534	570	594	625	672	726	761	788	810	829	846	861	875
17	591	630	655	688	738	795	832	860	883	903	921	937	952
18	650	691	717	752	805	864	903	933	958	979	998	1011	103
19	709	753	780	817	872	935	976	1011	1036	1060	1077	1091	111
20	770	816	844	883	941	1011	1055	1088	1111	1133	1155	1177	119
21	832	879	910	950	1011	1081	1121	1161	1197	1221	1233	1255	127
22	895	944	976	102	1081	115	120	123	126	129	131	133	135
23	958	1011	104	109	115	123	127	131	134	137	139	141	143
24	102	108	111	116	122	130	135	139	142	145	147	149	151
25	109	114	118	123	130	138	143	147	150	153	155	157	159
26	115	121	125	130	137	145	151	155	158	161	163	166	168
27	122	128	132	137	144	153	158	163	166	169	172	174	176
28	129	135	139	144	152	161	166	171	174	177	180	182	184
29	136	142	146	151	159	168	174	179	182	185	188	191	193
30	142	149	153	159	167	176	182	187	190	193	196	199	201
31	149	156	160	166	174	184	190	195	199	202	205	207	210
32	156	163	168	173	182	192	198	203	207	210	213	216	218
33	163	170	175	181	190	200	206	211	215	219	222	224	227
34	170	178	182	188	197	208	214	219	223	227	230	233	235
35	178	185	190	196	205	216	222	227	232	235	238	241	244
36	185	192	197	203	213	221	231	236	240	244	247	250	253
37	192	200	205	211	221	232	239	244	248	252	256	259	261
38	199	207	212	219	229	240	247	252	257	261	264	267	270
39	206	215	220	226	237	248	255	261	265	269	273	276	279
40	214	222	227	234	244	256	263	269	274	278	281	285	287
41	221	230	235	242	252	264	272	278	282	286	290	293	296
42	228	237	242	250	260	272	280	286	291	295	299	302	305
43	236	245	250	257	268	281	288	294	299	304	307	311	314
44	243	252	258	265	276	289	297	303	308	312	316	319	323
45	251	260	266	273	284	297	305	311	317	321	325	328	331
46	259	268	273	281	293	305	314	320	325	330	334	337	340
47	266	275	281	289	301	314	322	329	334	338	342	346	349
48	273	283	289	297	309	322	331	337	342	347	351	355	358
49	281	291	297	305	317	330	339	346	351	356	360	364	367
50	289	299	305	313	325	339	348	355	360	365	369	372	376
N	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
B													

Blocked-Calls-Cleared (Erlang B)

A in Erl

1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	E		10%	15%	20%	30%	40%	50%
					5%	7%						
.0101	.0121	.0152	.0204	.0309	.0526	.0753	.111	.176	.250	.429	.667	1.00
.153	.169	.190	.223	.282	.381	.470	.595	.796	1.00	1.45	2.00	2.73
.455	.489	.535	.602	.715	.899	1.06	1.27	1.60	1.93	2.63	3.48	4.59
.869	.922	.992	1.09	1.26	1.52	1.75	2.05	2.50	2.95	3.89	5.02	6.50
1.36	1.43	1.52	1.66	1.88	2.22	2.50	2.88	3.45	4.01	5.19	6.60	8.44
1.91	2.00	2.11	2.28	2.54	2.96	3.30	3.76	4.44	5.11	6.51	8.19	10.4
2.50	2.60	2.74	2.94	3.25	3.74	4.14	4.67	5.46	6.23	7.86	9.80	12.4
3.13	3.25	3.40	3.63	3.99	4.54	5.00	5.60	6.50	7.37	9.21	11.4	14.3
3.78	3.92	4.09	4.34	4.75	5.37	5.88	6.55	7.55	8.52	10.6	13.0	16.3
4.46	4.61	4.81	5.08	5.53	6.22	6.78	7.51	8.62	9.68	12.0	14.7	18.3
5.16	5.32	5.54	5.84	6.33	7.08	7.69	8.49	9.69	10.9	13.3	16.3	20.3
5.89	6.05	6.29	6.61	7.14	7.95	8.61	9.47	10.8	12.0	14.7	18.0	22.2
6.61	6.80	7.05	7.40	7.97	8.83	9.54	10.5	11.9	13.2	16.1	19.6	24.2
7.35	7.56	7.82	8.20	8.80	9.73	10.5	11.5	13.0	14.4	17.5	21.2	26.2
8.11	8.33	8.61	9.01	9.65	10.6	11.4	12.5	14.1	15.5	18.9	22.9	28.2
8.89	9.11	9.41	9.83	10.5	11.5	12.4	13.5	15.2	16.8	20.3	24.5	30.2
9.65	9.89	10.2	10.7	11.4	12.5	13.1	14.5	16.3	18.0	21.7	26.2	32.2
10.4	10.7	11.0	11.5	12.2	13.4	14.3	15.5	17.4	19.2	23.1	27.8	34.2
11.2	11.5	11.8	12.3	13.1	14.3	15.3	16.6	18.5	20.4	24.5	29.5	36.2
12.0	12.3	12.7	13.2	14.0	15.2	16.3	17.6	19.6	21.6	25.9	31.2	38.2
12.8	13.1	13.5	14.0	14.9	16.2	17.3	18.7	20.6	22.8	27.3	32.8	40.2
13.7	14.0	14.3	14.9	15.8	17.1	18.2	19.7	21.9	24.1	28.7	34.5	42.1
14.5	14.8	15.2	15.8	16.7	18.1	19.2	20.7	23.0	25.3	30.1	36.1	44.1
15.3	15.6	16.0	16.6	17.6	19.0	20.2	21.8	24.2	26.5	31.6	37.8	46.1
16.1	16.5	16.9	17.5	18.5	20.0	21.2	22.8	25.3	27.7	33.0	39.4	48.1
17.0	17.3	17.8	18.4	19.4	20.9	22.2	23.9	26.4	28.9	34.4	41.1	50.1
17.8	18.2	18.6	19.3	20.3	21.9	23.2	24.9	27.6	30.2	35.8	42.8	52.1
18.6	19.0	19.5	20.2	21.2	22.9	24.2	26.0	28.7	31.4	37.2	44.4	54.1
19.5	19.9	20.4	21.0	22.1	23.8	25.2	27.1	29.9	32.6	38.6	46.1	56.1
20.3	20.7	21.2	21.9	23.1	24.8	26.2	28.1	31.0	33.8	40.0	47.7	58.1
21.2	21.6	22.1	22.8	24.0	25.8	27.2	29.2	32.1	35.1	41.5	49.4	60.1
22.0	22.5	23.0	23.7	24.9	26.7	28.2	30.2	33.3	36.3	42.9	51.1	62.1
22.9	23.3	23.9	24.6	25.8	27.7	29.3	31.3	34.4	37.5	44.3	52.7	64.1
23.8	24.2	24.8	25.5	26.8	28.7	30.3	32.4	35.6	38.8	45.7	54.4	66.1
24.6	25.1	25.6	26.4	27.7	29.7	31.3	33.4	36.7	40.0	47.1	56.0	68.1
25.5	26.0	26.5	27.3	28.6	30.7	32.3	34.5	37.9	41.2	48.6	57.7	70.1
26.4	26.8	27.4	28.3	29.6	31.6	33.3	35.6	39.0	42.4	50.0	59.4	72.1
27.3	27.7	28.3	29.2	30.5	32.6	34.4	36.6	40.2	43.7	51.4	61.0	74.1
28.1	28.6	29.2	30.1	31.5	33.6	35.4	37.7	41.3	44.9	52.8	62.7	76.1
29.0	29.5	30.1	31.0	32.4	34.6	36.4	38.8	42.5	46.1	54.2	64.4	78.1
29.9	30.4	31.0	31.9	33.4	35.6	37.4	39.9	43.6	47.4	55.7	66.0	80.1
30.8	31.3	31.9	32.8	34.3	36.6	38.4	40.9	44.8	48.6	57.1	67.7	82.1
31.7	32.2	32.8	33.8	35.3	37.6	39.5	42.0	45.9	49.9	58.5	69.3	84.1
32.5	33.1	33.7	34.7	36.2	38.6	40.5	43.1	47.1	51.1	59.9	71.0	86.1
33.4	34.0	34.6	35.6	37.2	39.6	41.5	44.2	48.2	52.3	61.3	72.7	88.1
34.3	34.9	35.6	36.5	38.1	40.5	42.6	45.2	49.4	53.6	62.8	74.3	90.1
35.2	35.8	36.5	37.5	39.1	41.5	43.6	46.3	50.6	54.8	64.2	76.0	92.1
36.1	36.7	37.4	38.4	40.0	42.5	44.6	47.4	51.7	56.0	65.6	77.7	94.1
37.0	37.6	38.3	39.3	41.0	43.5	45.7	48.5	52.9	57.3	67.0	79.3	96.1
37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54.0	58.5	68.5	81.0	98.1

B

A in Erl

N	B												
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
50	28.9	29.9	30.5	31.3	32.5	33.9	34.8	35.4	36.0	36.5	36.9	37.2	37.6
51	29.6	30.6	31.3	32.1	33.3	34.7	35.6	36.3	36.9	37.3	37.8	38.1	38.5
52	30.4	31.4	32.0	32.9	34.2	35.6	36.5	37.2	37.7	38.2	38.6	39.0	39.4
53	31.2	32.2	32.8	33.7	35.0	36.4	37.3	38.0	38.6	39.1	39.5	39.9	40.3
54	31.9	33.0	33.6	34.5	35.8	37.2	38.2	38.9	39.5	40.0	40.4	40.8	41.2
55	32.7	33.8	34.4	35.3	36.6	38.1	39.0	39.8	40.4	40.9	41.3	41.7	42.1
56	33.5	34.6	35.2	36.1	37.5	38.9	39.9	40.6	41.2	41.7	42.2	42.6	43.0
57	34.3	35.4	36.0	36.9	38.3	39.8	40.8	41.5	42.1	42.6	43.1	43.5	43.9
58	35.1	36.2	36.8	37.8	39.1	40.6	41.6	42.4	43.0	43.5	44.0	44.4	44.8
59	35.8	37.0	37.6	38.6	40.0	41.5	42.5	43.3	43.9	44.4	44.9	45.3	45.7
60	36.6	37.8	38.5	39.4	40.8	42.4	43.4	44.1	44.8	45.3	45.8	46.2	46.6
61	37.4	38.6	39.3	40.2	41.6	43.2	44.2	45.0	45.6	46.2	46.7	47.1	47.5
62	38.2	39.4	40.1	41.0	42.5	44.1	45.1	45.9	46.5	47.1	47.6	48.0	48.4
63	39.0	40.2	40.9	41.9	43.3	44.9	46.0	46.8	47.4	48.0	48.5	48.9	49.3
64	39.8	41.0	41.7	42.7	44.2	45.8	46.8	47.6	48.3	48.9	49.4	49.8	50.2
65	40.6	41.8	42.5	43.5	45.0	46.6	47.7	48.5	49.2	49.8	50.3	50.7	51.1
66	41.4	42.6	43.3	44.4	45.8	47.5	48.6	49.4	50.1	50.7	51.2	51.6	52.0
67	42.2	43.4	44.2	45.2	46.7	48.4	49.5	50.3	51.0	51.6	52.1	52.5	53.0
68	43.0	44.2	45.0	46.0	47.5	49.2	50.3	51.2	51.9	52.5	53.0	53.4	53.9
69	43.8	45.0	45.8	46.8	48.4	50.1	51.2	52.1	52.8	53.4	53.9	54.4	54.8
70	44.6	45.8	46.6	47.7	49.2	51.0	52.1	53.0	53.7	54.3	54.8	55.3	55.7
71	45.4	46.7	47.5	48.5	50.1	51.8	53.0	53.8	54.6	55.2	55.7	56.2	56.6
72	46.2	47.5	48.3	49.4	50.9	52.7	53.9	54.7	55.5	56.1	56.6	57.1	57.5
73	47.0	48.3	49.1	50.2	51.8	53.6	54.7	55.6	56.4	57.0	57.5	58.0	58.5
74	47.8	49.1	49.9	51.0	52.7	54.5	55.6	56.5	57.3	57.9	58.4	58.9	59.4
75	48.6	49.9	50.8	51.9	53.5	55.3	56.5	57.4	58.2	58.8	59.3	59.8	60.3
76	49.4	50.8	51.6	52.7	54.4	56.2	57.4	58.3	59.1	59.7	60.3	60.8	61.2
77	50.2	51.6	52.4	53.6	55.2	57.1	58.3	59.2	60.0	60.6	61.2	61.7	62.1
78	51.1	52.4	53.3	54.4	56.1	58.0	59.2	60.1	60.9	61.5	62.1	62.6	63.1
79	51.9	53.2	54.1	55.3	56.9	58.8	60.1	61.0	61.8	62.4	63.0	63.5	64.0
80	52.7	54.1	54.9	56.1	57.8	59.7	61.0	61.9	62.7	63.3	63.9	64.4	64.9
81	53.5	54.9	55.8	56.9	58.7	60.6	61.8	62.8	63.6	64.2	64.8	65.4	65.8
82	54.3	55.7	56.6	57.8	59.5	61.5	62.7	63.7	64.5	65.2	65.7	66.3	66.8
83	55.1	56.6	57.5	58.6	60.4	62.4	63.6	64.6	65.4	66.1	66.7	67.2	67.7
84	56.0	57.4	58.3	59.5	61.3	63.2	64.5	65.5	66.3	67.0	67.6	68.1	68.6
85	56.8	58.2	59.1	60.4	62.1	64.1	65.4	66.4	67.2	67.9	68.5	69.1	69.6
86	57.6	59.1	60.0	61.2	63.0	65.0	66.3	67.3	68.1	68.8	69.4	70.0	70.5
87	58.4	59.9	60.8	62.1	63.9	65.7	67.2	68.2	69.0	69.7	70.3	70.9	71.4
88	59.3	60.8	61.7	62.9	64.7	66.8	68.1	69.1	69.9	70.6	71.3	71.8	72.3
89	60.1	61.6	62.5	63.8	65.6	67.7	69.0	70.0	70.8	71.6	72.2	72.8	73.3
90	60.9	62.4	63.4	64.6	66.5	68.6	69.9	70.9	71.8	72.5	73.1	73.7	74.2
91	61.8	63.3	64.2	65.5	67.4	69.4	70.8	71.8	72.7	73.4	74.0	74.6	75.1
92	62.6	64.1	65.1	66.3	68.2	70.3	71.7	72.7	73.6	74.3	75.0	75.5	76.1
93	63.4	65.0	65.9	67.2	69.1	71.2	72.6	73.6	74.5	75.2	75.9	76.5	77.0
94	64.2	65.8	66.8	68.1	70.0	72.1	73.5	74.5	75.4	76.2	76.8	77.4	77.9
95	65.1	66.6	67.6	68.9	70.9	73.0	74.4	75.5	76.3	77.1	77.7	78.3	78.9
96	65.9	67.5	68.5	69.8	71.7	73.9	75.3	76.4	77.2	78.0	78.7	79.3	79.8
97	66.8	68.3	69.3	70.7	72.6	74.8	76.2	77.3	78.2	78.9	79.6	80.2	80.7
98	67.6	69.2	70.2	71.5	73.5	75.7	77.1	78.2	79.1	79.8	80.5	81.1	81.7
99	68.4	70.0	71.0	72.4	74.4	76.6	78.0	79.1	80.0	80.8	81.4	82.0	82.6
100	69.3	70.9	71.9	73.2	75.2	77.5	78.9	80.0	80.9	81.7	82.4	83.0	83.5
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
N	B												

A in Erl

1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	B									
					5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		
37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54.0	58.5	68.5	81.0	98.1		
38.8	39.4	40.1	41.2	42.9	45.5	47.7	50.6	55.2	59.7	69.9	82.7	100.1		
39.7	40.3	41.0	42.1	43.9	46.5	48.8	51.7	56.3	61.0	71.3	84.3	102.1		
40.6	41.2	42.0	43.1	44.8	47.5	49.8	52.8	57.5	62.2	72.7	86.0	104.1		
41.5	42.1	42.9	44.0	45.8	48.5	50.8	53.9	58.7	63.5	74.2	87.6	106.1		
42.4	43.0	43.8	44.9	46.7	49.5	51.9	55.0	59.8	64.7	75.6	89.3	108.1		
43.3	43.9	44.7	45.9	47.7	50.5	52.9	56.1	61.0	65.9	77.0	91.0	110.1		
44.2	44.8	45.7	46.8	48.7	51.5	53.9	57.1	62.1	67.2	78.4	92.6	112.1		
45.1	45.8	46.6	47.8	49.6	52.6	55.0	58.2	63.3	68.4	79.8	94.3	114.1		
46.0	46.7	47.5	48.7	50.6	53.6	56.0	59.3	64.5	69.7	81.3	96.0	116.1		
46.9	47.6	48.4	49.6	51.6	54.6	57.1	60.4	65.6	70.9	82.7	97.6	118.1		
47.9	48.5	49.4	50.6	52.5	55.6	58.1	61.5	66.8	72.1	84.1	99.3	120.1		
48.8	49.4	50.3	51.5	53.5	56.6	59.1	62.6	68.0	73.4	85.5	101.0	122.1		
49.7	50.1	51.2	52.5	54.5	57.6	60.2	63.7	69.1	74.6	87.0	102.6	124.1		
50.6	51.3	52.2	53.1	55.4	58.6	61.2	64.8	70.3	75.9	88.4	104.3	126.1		
51.5	52.2	53.1	54.4	56.4	59.6	62.3	65.8	71.4	77.1	89.8	106.0	128.1		
52.4	53.1	54.0	55.3	57.4	60.6	63.3	66.9	72.6	78.3	91.2	107.6	130.1		
53.4	54.1	55.0	56.3	58.4	61.6	64.4	68.0	73.8	79.6	92.7	109.3	132.1		
54.3	55.0	55.9	57.2	59.3	62.6	65.4	69.1	74.9	80.8	94.1	111.0	134.1		
55.2	55.9	56.9	58.2	60.3	63.7	66.4	70.2	76.1	82.1	95.5	112.6	136.1		
56.1	56.8	57.8	59.1	61.3	64.7	67.5	71.3	77.3	83.3	96.9	114.3	138.1		
57.0	57.8	58.7	60.1	62.3	65.7	68.5	72.4	78.4	84.6	98.4	115.9	140.1		
58.0	58.7	59.7	61.0	63.2	66.7	69.6	73.5	79.6	85.8	99.8	117.6	142.1		
58.9	59.6	60.6	62.0	64.2	67.7	70.6	74.6	80.8	87.0	101.2	119.3	144.1		
59.8	60.6	61.6	62.9	65.2	68.7	71.7	75.6	81.9	88.3	102.7	120.9	146.1		
60.7	61.5	62.5	63.9	66.2	69.7	72.7	76.7	83.1	89.5	104.1	122.6	148.0		
61.7	62.4	63.4	64.9	67.2	70.8	73.8	77.8	84.2	90.8	105.5	124.3	150.0		
62.6	63.4	64.4	65.8	68.1	71.8	74.8	78.9	85.4	92.0	106.9	125.9	152.0		
63.5	64.3	65.3	66.8	69.1	72.8	75.9	80.0	86.6	93.3	108.4	127.6	154.0		
64.4	65.2	66.3	67.7	70.1	73.8	76.9	81.1	87.7	94.5	109.8	129.3	156.0		
65.4	66.2	67.2	68.7	71.1	74.8	78.0	82.2	88.9	95.7	111.2	130.9	158.0		
66.3	67.1	68.2	69.6	72.1	75.8	79.0	83.3	90.1	97.0	112.6	132.6	160.0		
67.2	68.0	69.1	70.6	73.0	76.9	80.1	84.4	91.2	98.2	114.1	134.3	162.0		
68.2	69.0	70.1	71.6	74.0	77.9	81.1	85.5	92.4	99.5	115.5	135.9	164.0		
69.1	69.9	71.0	72.5	75.0	78.9	82.2	86.6	93.6	100.7	116.9	137.6	166.0		
70.0	70.9	71.9	73.5	76.0	79.9	83.2	87.7	94.7	102.0	118.3	139.3	168.0		
70.9	71.8	72.9	74.5	77.0	80.9	84.3	88.8	95.9	103.2	119.8	140.9	170.0		
71.9	72.7	73.8	75.4	78.0	82.0	85.3	89.9	97.1	104.5	121.2	142.6	172.0		
72.8	73.7	74.8	76.4	78.9	83.0	86.4	91.0	98.2	105.7	122.6	144.3	174.0		
73.7	74.6	75.7	77.3	79.9	84.0	87.4	92.1	99.4	106.9	124.0	145.9	176.0		
74.7	75.6	76.7	78.3	80.9	85.0	88.5	93.1	100.6	108.2	125.5	147.6	178.0		
75.6	76.5	77.6	79.3	81.9	86.0	89.5	94.2	101.7	109.4	126.9	149.3	180.0		
76.6	77.4	78.6	80.2	82.9	87.1	90.6	95.3	102.9	110.7	128.3	150.9	182.0		
77.5	78.4	79.6	81.2	83.9	88.1	91.6	96.4	104.1	111.9	129.7	152.6	184.0		
78.4	79.3	80.5	82.2	84.9	89.1	92.7	97.5	105.3	113.2	131.2	154.3	186.0		
79.4	80.3	81.5	83.1	85.8	90.1	93.7	98.6	106.4	114.4	132.6	155.9	188.0		
80.3	81.2	82.4	84.1	86.8	91.1	94.8	99.7	107.6	115.7	134.0	157.6	190.0		
81.2	82.2	83.4	85.1	87.8	92.2	95.8	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3	192.0		
82.2	83.1	84.3	86.0	88.8	93.2	96.9	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9	194.0		
83.1	84.1	85.3	87.0	89.8	94.2	97.9	103.0	111.1	119.4	138.3	162.6	196.0		
84.1	85.0	86.2	88.0	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0		
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		

B

A In Erl

N	B												
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
100	69.3	70.9	71.9	73.2	75.2	77.5	78.9	80.0	80.9	81.7	82.4	83.0	83.5
102	70.9	72.6	73.6	75.0	77.0	79.3	80.7	81.8	82.7	83.5	84.2	84.8	85.4
104	72.6	74.3	75.3	76.7	78.8	81.1	82.5	83.7	84.6	85.4	86.1	86.7	87.3
106	74.3	76.0	77.1	78.5	80.5	82.8	84.3	85.5	86.4	87.2	87.9	88.6	89.2
108	76.0	77.7	78.8	80.2	82.3	84.6	86.2	87.3	88.3	89.1	89.8	90.5	91.1
110	77.7	79.4	80.5	81.9	84.1	86.4	88.0	89.2	90.1	90.9	91.7	92.3	92.9
112	79.4	81.1	82.2	83.7	85.8	88.3	89.8	91.0	92.0	92.8	93.5	94.2	94.8
114	81.1	82.9	84.0	85.4	87.6	90.1	91.6	92.8	93.8	94.7	95.4	96.1	96.7
116	82.8	84.6	85.7	87.2	89.4	91.9	93.5	94.7	95.7	96.5	97.3	98.0	98.6
118	84.5	86.3	87.4	88.9	91.2	93.7	95.3	96.5	97.5	98.1	98.9	99.7	100.5
120	86.2	88.0	89.2	90.7	93.0	95.5	97.1	98.4	99.4	100.3	101.0	101.7	102.4
122	87.9	89.8	90.9	92.5	94.7	97.3	98.9	100.2	101.2	102.1	102.7	103.6	104.3
124	89.6	91.5	92.7	94.2	96.5	99.1	100.8	102.1	103.1	104.0	104.8	105.5	106.2
126	91.3	93.2	94.4	96.0	98.3	100.9	102.6	103.9	105.0	105.9	106.7	107.4	108.1
128	93.1	95.0	96.2	97.8	100.1	102.7	104.5	105.8	106.8	107.7	108.5	109.3	109.9
130	94.8	96.7	97.9	99.5	101.9	104.6	106.3	107.6	108.7	109.6	110.4	111.2	111.8
132	96.5	98.5	99.7	101.3	103.7	106.4	108.1	109.5	110.5	111.5	112.3	113.1	113.7
134	98.2	100.2	101.4	103.1	105.5	108.2	110.0	111.3	112.1	113.0	113.8	114.6	115.2
136	100.0	101.9	103.2	104.9	107.3	110.0	111.8	113.2	114.3	115.2	116.1	116.8	117.5
138	101.7	103.7	105.0	106.6	109.1	111.9	113.7	115.0	116.2	117.1	118.0	118.7	119.4
140	103.4	105.4	106.7	108.4	110.9	113.7	115.5	116.9	118.0	119.0	119.9	120.6	121.4
142	105.1	107.2	108.5	110.2	112.7	115.5	117.4	118.7	119.9	120.9	121.8	122.5	123.3
144	106.9	109.0	110.2	112.0	114.5	117.4	119.2	120.6	121.8	122.8	123.6	124.4	125.2
146	108.6	110.7	112.0	113.8	116.3	119.2	121.1	122.5	123.6	124.6	125.5	126.3	127.1
148	110.4	112.5	113.8	115.5	118.1	121.0	122.9	124.3	125.5	126.5	127.4	128.2	129.0
150	112.1	114.2	115.6	117.3	119.9	122.9	124.8	126.2	127.4	128.4	129.3	130.1	130.9
152	113.8	116.0	117.3	119.1	121.8	124.7	126.6	128.1	129.3	130.3	131.2	132.0	132.8
154	115.6	117.8	119.1	120.9	123.6	126.5	128.5	129.9	131.2	132.2	133.1	133.9	134.7
156	117.3	119.5	120.7	122.7	125.4	128.4	130.3	131.8	133.0	134.1	135.0	135.9	136.6
158	119.1	121.3	122.7	124.5	127.2	130.2	132.2	133.7	134.9	136.0	137.0	137.8	138.5
160	120.8	123.1	124.4	126.3	129.0	132.1	134.0	135.6	136.8	137.9	138.8	139.7	140.4
162	122.6	124.8	126.2	128.1	130.8	133.9	135.9	137.4	138.7	139.8	140.7	141.6	142.4
164	124.3	126.6	128.0	129.9	132.7	135.8	137.8	139.3	140.6	141.7	142.6	143.5	144.3
166	126.1	128.4	129.9	131.7	134.5	137.6	139.6	141.2	142.5	143.5	144.5	145.4	146.2
168	127.9	130.2	131.6	133.5	136.3	139.4	141.5	143.1	144.3	145.4	146.4	147.3	148.1
170	129.6	131.9	133.4	135.3	138.1	141.3	143.4	144.9	146.2	147.3	148.3	149.2	150.0
172	131.4	133.7	135.2	137.1	139.9	143.1	145.2	146.8	148.1	149.2	150.2	151.1	151.9
174	133.1	135.5	136.9	138.9	141.8	145.0	147.1	148.7	150.0	151.1	152.1	153.0	153.9
176	134.9	137.3	138.7	140.7	143.6	146.9	149.0	150.6	151.7	153.0	154.0	155.0	155.8
178	136.7	139.0	140.5	142.5	145.4	148.7	150.8	152.4	153.7	155.0	156.0	156.9	157.7
180	138.4	140.8	142.3	144.3	147.3	150.6	152.7	154.3	155.7	156.8	157.9	158.8	159.6
182	140.2	142.6	144.1	146.1	149.1	152.4	154.6	156.2	157.6	158.7	159.8	160.7	161.6
184	142.0	144.4	145.9	147.9	150.9	154.3	156.4	158.1	159.5	160.6	161.7	162.6	163.5
186	143.7	146.2	147.7	149.8	152.8	156.1	158.3	160.0	161.4	162.5	163.6	164.5	165.4
188	145.5	148.0	149.5	151.6	154.6	158.0	160.2	161.9	163.3	164.4	165.5	166.5	167.3
190	147.3	149.8	151.3	153.4	156.4	159.8	162.1	163.8	165.2	166.4	167.4	168.4	169.3
192	149.1	151.6	153.1	155.2	158.3	161.7	163.9	165.6	167.0	168.3	169.3	170.3	171.2
194	150.8	153.4	154.9	157.0	160.1	163.5	165.8	167.5	168.9	170.2	171.2	172.2	173.1
196	152.6	155.2	156.7	158.8	161.9	165.4	167.7	169.4	170.8	172.1	173.2	174.1	175.0
198	154.4	156.9	158.5	160.7	163.8	167.3	169.6	171.3	172.7	174.0	175.1	176.1	177.0
200	156.2	158.7	160.3	162.5	165.6	169.2	171.4	173.2	174.6	175.9	177.0	178.0	178.9
N	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%

A in Erl

B												
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
84.1	85.0	86.2	88.0	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0
85.9	86.9	88.1	89.9	92.8	97.3	101.1	106.3	114.6	123.1	142.6	167.6	202.0
87.8	88.8	90.1	91.9	94.8	99.3	103.2	108.5	116.9	125.6	145.4	170.9	206.0
89.7	90.7	92.0	93.8	96.7	101.4	105.3	110.7	119.3	128.1	148.3	174.2	210.0
91.6	92.6	93.9	95.7	98.7	103.4	107.4	112.9	121.6	130.6	151.1	177.6	214.0
93.5	94.5	95.8	97.7	100.7	105.5	109.5	115.1	124.0	133.1	154.0	180.9	218.0
95.4	96.4	97.7	99.6	102.7	107.5	111.7	117.3	126.3	135.6	156.9	184.2	222.0
97.3	98.3	99.7	101.6	104.7	109.6	113.8	119.5	128.6	138.1	159.7	187.6	226.0
99.2	100.2	101.6	103.5	106.7	111.7	115.9	121.7	131.0	140.6	162.6	190.9	230.0
101.1	102.1	103.5	105.5	108.7	113.7	118.0	123.9	133.3	143.1	165.4	194.2	234.0
103.0	104.0	105.4	107.4	110.7	115.8	120.1	126.1	135.7	145.6	168.3	197.6	238.0
104.9	105.9	107.4	109.4	112.6	117.8	122.2	128.3	138.0	148.1	171.1	200.9	242.0
106.8	107.9	109.3	111.3	114.6	119.9	124.4	130.5	140.3	150.6	174.0	204.2	246.0
108.7	109.8	111.2	113.3	116.6	121.9	126.5	132.7	142.7	153.0	176.8	207.6	250.0
110.6	111.7	113.2	115.2	118.6	124.0	128.6	134.9	145.0	155.5	179.7	210.9	254.0
112.5	113.6	115.1	117.2	120.6	126.1	130.7	137.1	147.1	158.0	182.5	214.2	258.0
114.4	115.5	117.0	119.1	122.6	128.1	132.8	139.3	149.7	160.5	185.4	217.6	262.0
116.3	117.4	119.0	121.1	124.6	130.2	134.9	141.5	152.0	163.0	188.3	220.9	266.0
118.2	119.4	120.9	123.1	126.6	132.3	137.1	143.7	154.4	165.5	191.1	224.2	270.0
120.1	121.3	122.8	125.0	128.6	134.3	139.2	145.9	156.7	168.0	194.0	227.6	274.0
122.0	123.2	124.8	127.0	130.6	136.4	141.3	148.1	159.1	170.5	196.8	230.9	278.0
123.9	125.1	126.7	128.9	132.6	138.4	143.4	150.3	161.4	173.0	199.7	234.2	282.0
125.8	127.0	128.6	130.9	134.6	140.5	145.6	152.5	163.8	175.5	202.5	237.6	286.0
127.7	129.0	130.6	132.9	136.6	142.6	147.7	154.7	166.1	178.0	205.4	240.9	290.0
129.7	130.9	132.5	134.8	138.6	144.6	149.8	156.9	168.5	180.5	208.2	244.2	294.0
131.6	132.8	134.5	136.8	140.6	146.7	151.9	159.1	170.8	183.0	211.1	247.6	298.0
133.5	134.8	136.4	138.8	142.6	148.8	154.0	161.3	173.1	185.5	214.0	250.9	302.0
135.4	136.7	138.4	140.7	144.6	150.8	156.2	163.5	175.5	188.0	216.8	254.2	306.0
137.3	138.6	140.3	142.7	146.6	152.9	158.3	165.7	177.6	190.5	219.7	257.6	310.0
139.2	140.5	142.3	144.7	148.6	155.0	160.4	167.9	180.2	193.0	222.5	260.9	314.0
141.2	142.5	144.2	146.6	150.6	157.0	162.5	170.2	182.5	195.5	225.4	264.2	318.0
143.1	144.4	146.1	148.6	152.7	159.1	164.7	172.4	184.9	198.0	228.2	267.6	322.0
145.0	146.3	148.1	150.6	154.7	161.2	166.8	174.6	187.2	200.4	231.1	270.9	326.0
146.9	148.3	150.0	152.6	156.7	163.3	168.9	176.8	189.6	202.9	233.9	274.2	330.0
148.9	150.2	152.0	154.5	158.7	165.3	171.0	179.0	191.9	205.4	236.8	277.6	334.0
150.8	152.1	153.9	156.5	160.7	167.4	173.2	181.2	194.2	207.9	239.7	280.9	338.0
152.7	154.1	155.9	158.5	162.7	169.5	175.3	183.4	196.6	210.4	242.5	284.2	342.0
154.6	156.0	157.8	160.4	164.7	171.5	177.4	185.6	198.9	212.9	245.4	287.6	346.0
156.6	158.0	159.8	162.4	166.7	173.6	179.6	187.8	201.3	215.4	248.2	290.9	350.0
158.5	159.9	161.8	164.4	168.7	175.7	181.7	190.0	203.6	217.9	251.1	294.2	354.0
160.4	161.8	163.7	166.4	170.7	177.8	183.8	192.2	206.0	220.4	253.9	297.5	358.0
162.3	163.8	165.7	168.3	172.8	179.8	185.9	194.4	208.3	222.9	256.8	300.9	362.0
164.3	165.7	167.6	170.3	174.8	181.9	188.1	196.6	210.7	225.4	259.6	304.2	366.0
166.2	167.7	169.6	172.3	176.8	184.0	190.2	198.9	213.0	227.9	262.5	307.5	370.0
168.1	169.6	171.5	174.3	178.8	186.1	192.3	201.1	215.4	230.4	265.4	310.9	374.0
170.1	171.5	173.5	176.3	180.8	188.1	194.5	203.3	217.7	232.9	268.2	314.2	378.0
172.0	173.5	175.4	178.2	182.8	190.2	196.6	205.5	220.1	235.4	271.1	317.5	382.0
173.9	175.4	177.4	180.2	184.8	192.3	198.7	207.7	222.4	237.9	273.9	320.9	386.0
175.9	177.4	179.4	182.2	186.9	194.4	200.8	209.9	224.8	240.4	276.8	324.2	390.0
177.8	179.3	181.3	184.2	188.9	196.4	203.0	212.1	227.1	242.9	279.6	327.5	394.0
179.7	181.3	183.3	186.2	190.9	198.5	205.1	214.3	229.1	245.4	282.5	330.9	398.0
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
B												

A in Erl

N	B												
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
200	156.2	158.7	160.3	162.5	165.6	169.2	171.4	173.2	174.6	175.9	177.0	178.0	178.9
202	158.0	160.5	162.1	164.3	167.5	171.0	173.3	175.1	176.5	177.8	178.9	179.9	180.8
204	159.7	162.3	164.0	166.1	169.3	172.9	175.2	177.0	178.4	179.7	180.8	181.8	182.8
206	161.5	164.1	165.8	167.9	171.2	174.8	177.1	178.9	180.4	181.6	182.7	183.8	184.7
208	163.3	165.9	167.6	169.8	173.0	176.6	179.0	180.8	182.3	183.5	184.7	185.7	186.6
210	165.1	167.7	169.4	171.6	174.8	178.5	180.9	182.7	184.2	185.4	186.6	187.6	188.6
212	166.9	169.5	171.2	173.4	176.7	180.4	182.7	184.6	186.1	187.1	188.5	189.5	190.5
214	168.7	171.3	173.0	175.2	178.5	182.2	184.6	186.5	188.0	189.3	190.4	191.5	192.4
216	170.5	173.2	174.9	177.1	180.4	184.1	186.5	188.4	189.9	191.2	192.3	193.4	194.4
218	172.3	175.0	176.7	178.9	182.2	186.0	188.4	190.2	191.8	193.1	194.3	195.3	196.3
220	174.0	176.8	178.5	180.7	184.1	187.8	190.3	192.1	193.7	195.0	196.2	197.2	198.2
222	175.8	178.6	180.3	182.6	185.9	189.7	192.2	194.0	195.6	196.9	198.1	199.2	200.2
224	177.6	180.4	182.1	184.4	187.8	191.6	194.1	195.9	197.5	198.8	200.0	201.1	202.1
226	179.4	182.2	183.9	186.2	189.6	193.5	195.9	197.8	199.4	200.8	202.0	203.0	204.0
228	181.2	184.0	185.7	188.0	191.5	195.3	197.8	199.7	201.3	202.7	203.9	205.0	206.0
230	183.0	185.8	187.6	189.9	193.3	197.2	199.7	201.6	203.2	204.6	205.8	206.9	207.9
232	184.8	187.6	189.4	191.7	195.2	199.1	201.6	203.5	205.1	206.5	207.7	208.8	209.8
234	186.6	189.4	191.2	193.6	197.1	201.0	203.5	205.4	207.1	208.4	209.7	210.8	211.8
236	188.4	191.3	193.0	195.4	198.9	202.8	205.4	207.4	209.0	210.4	211.6	212.7	213.7
238	190.2	193.1	194.9	197.2	200.8	204.7	207.3	209.3	210.9	212.3	213.5	214.6	215.7
240	192.0	194.9	196.7	199.1	202.6	206.6	209.2	211.2	212.8	214.2	215.4	216.6	217.6
242	193.8	196.7	198.5	200.9	204.5	208.5	211.1	213.1	214.7	216.1	217.4	218.5	219.5
244	195.6	198.5	200.3	202.8	206.3	210.4	213.0	215.0	216.6	218.0	219.3	220.4	221.5
246	197.4	200.3	202.2	204.6	208.2	212.2	214.9	216.9	218.5	220.0	221.2	222.4	223.4
248	199.2	202.2	204.0	206.4	210.1	214.1	216.8	218.8	220.4	221.9	223.2	224.3	225.4
250	201.0	204.0	205.8	208.3	211.9	216.0	218.7	220.7	222.4	223.8	225.1	226.2	227.3
	.908	.914	.920	.926	.931	.944	.950	.956	.960	.964	.968	.972	.974
300	246.4	249.7	251.8	254.6	258.6	263.2	266.2	268.5	270.4	272.0	273.5	274.8	276.0
	.918	.924	.928	.932	.942	.952	.958	.962	.966	.970	.972	.978	.978
350	292.3	295.9	298.2	301.2	305.7	310.8	314.1	316.6	318.7	320.5	322.1	323.6	324.9
	.922	.928	.932	.938	.946	.954	.960	.966	.970	.972	.976	.978	.982
400	338.4	342.3	344.8	348.1	353.0	358.5	362.1	364.9	367.2	369.1	370.9	372.5	374.0
	.928	.934	.938	.942	.950	.958	.964	.968	.972	.976	.978	.982	.984
450	384.8	389.0	391.7	395.2	400.5	406.4	410.3	413.3	415.8	417.9	419.8	421.6	423.2
	.932	.938	.942	.946	.954	.962	.968	.972	.974	.978	.982	.982	.984
500	431.4	435.9	438.8	442.5	448.2	454.5	458.7	461.9	464.5	466.8	468.9	470.7	472.4
	.938	.943	.946	.951	.957	.965	.970	.974	.978	.981	.983	.986	.989
600	525.2	530.2	533.4	537.6	543.9	551.0	555.7	559.3	562.3	564.9	567.2	569.3	571.3
	.943	.948	.951	.956	.962	.968	.974	.978	.981	.984	.986	.988	.990
700	619.5	625.0	628.5	633.2	640.1	647.9	653.1	657.1	660.4	663.3	665.8	668.2	670.3
	.948	.953	.955	.959	.965	.972	.976	.980	.983	.985	.989	.990	.993
800	714.3	720.3	724.0	729.1	736.6	745.1	750.7	755.1	758.7	761.8	764.7	767.2	769.6
	.951	.955	.959	.962	.967	.974	.979	.982	.985	.988	.990	.993	.994
900	809.4	815.8	819.9	825.3	833.3	842.5	848.6	853.3	857.2	860.6	863.7	866.5	869.0
	.954	.959	.961	.964	.970	.976	.980	.984	.987	.989	.991	.993	.996
1000	904.8	911.7	916.0	921.7	930.3	940.1	946.6	951.7	955.9	959.5	962.8	965.8	968.6
	.962	.963	.966	.963	.977	.979	.984	.983	.991	.993	.992	.992	.994
1100	1001.	1008.	1012.	1018.	1028.	1038.	1045.	1050.	1055.	1059.	1062.	1065.	1068.
N	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
	B												

A In Erl

B												
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
179.7	181.3	183.3	186.2	190.9	198.5	205.1	214.3	229.4	245.4	282.5	330.9	398.0
181.7	183.2	185.2	188.1	192.9	200.6	207.2	216.5	231.8	247.9	285.4	334.2	402.0
183.6	185.2	187.2	190.1	194.9	202.7	209.4	218.7	234.1	250.4	288.2	337.5	406.0
185.5	187.1	189.2	192.1	196.9	204.7	211.5	221.0	236.5	252.9	291.1	340.9	410.0
187.4	189.1	191.1	194.1	199.0	206.8	213.6	223.2	238.8	255.4	293.9	344.2	414.0
189.4	191.0	193.1	196.1	201.0	208.9	215.8	225.4	241.2	257.9	296.8	347.5	418.0
191.4	193.0	195.1	198.1	203.0	211.0	217.9	227.6	243.5	260.4	299.6	350.9	422.0
193.3	194.9	197.0	200.0	205.0	213.0	220.0	229.8	245.9	262.9	302.5	354.2	426.0
195.2	196.9	199.0	202.0	207.0	215.1	222.2	232.0	248.2	265.4	305.3	357.5	430.0
197.2	198.8	201.0	204.0	209.1	217.2	224.3	234.2	250.6	267.9	308.2	360.9	434.0
199.1	200.8	203.0	206.0	211.1	219.3	226.4	236.4	252.9	270.4	311.1	364.2	438.0
201.1	202.7	204.9	208.0	213.1	221.4	228.6	238.6	255.3	272.9	313.9	367.5	442.0
203.0	204.7	206.8	210.0	215.1	223.4	230.7	240.9	257.6	275.4	316.8	370.9	446.0
204.9	206.6	208.8	212.0	217.1	225.5	232.8	243.1	260.0	277.8	319.6	374.2	450.0
206.9	208.6	210.8	213.9	219.2	227.6	235.0	245.3	262.3	280.3	322.5	377.5	454.0
208.8	210.5	212.8	215.9	221.2	229.7	237.1	247.5	264.7	282.8	325.3	380.9	458.0
210.8	212.5	214.7	217.9	223.2	231.8	239.2	249.7	267.0	285.3	328.2	384.2	462.0
212.7	214.4	216.7	219.9	225.2	233.8	241.4	251.9	269.4	287.8	331.1	387.5	466.0
214.7	216.4	218.7	221.9	227.2	235.9	243.5	254.1	271.7	290.3	333.9	390.9	470.0
216.6	218.3	220.6	223.9	229.2	238.0	245.6	256.3	274.1	292.8	336.8	394.2	474.0
218.6	220.3	222.6	225.9	231.2	240.1	247.8	258.6	276.4	295.3	339.6	397.5	478.0
220.5	222.3	224.6	227.9	233.2	242.2	249.9	260.8	278.8	297.8	342.5	400.9	482.0
222.5	224.2	226.5	229.9	235.2	244.3	252.0	263.0	281.1	300.3	345.3	404.2	486.0
224.4	226.2	228.5	231.8	237.2	246.3	254.2	265.2	283.4	302.8	348.2	407.5	490.0
226.3	228.1	230.5	233.8	239.4	248.4	256.3	267.4	285.8	305.3	351.0	410.9	494.0
228.3	230.1	232.5	235.9	241.4	250.5	258.4	269.6	288.1	307.8	353.9	414.2	498.0
.976	.982	.988	.998	1.014	1.042	1.070	1.108	1.176	1.250	1.428	1.666	2.000
271.1	279.2	281.9	285.7	292.1	302.6	311.9	325.0	346.9	370.3	425.3	497.5	598.0
.982	.984	.990	1.000	1.016	1.044	1.070	1.108	1.174	1.248	1.428	1.668	2.000
326.2	328.4	331.4	335.7	342.9	354.8	365.4	380.4	405.6	432.7	496.7	580.9	698.0
.982	.988	.994	1.004	1.020	1.046	1.070	1.108	1.176	1.250	1.430	1.666	2.000
375.3	377.8	381.1	385.9	393.9	407.1	418.9	435.8	464.4	495.2	568.2	664.2	798.0
.986	.990	.996	1.004	1.018	1.046	1.072	1.110	1.176	1.250	1.428	1.666	2.000
424.6	427.3	430.9	436.1	444.8	459.4	472.5	491.3	523.2	557.7	639.6	747.5	898.0
.988	.994	.998	1.006	1.022	1.048	1.070	1.108	1.176	1.250	1.428	1.668	2.000
474.0	477.0	480.8	486.4	495.9	511.8	526.0	546.7	582.0	620.2	711.0	830.9	998.0
.991	.994	1.000	1.008	1.022	1.047	1.073	1.110	1.176	1.249	1.429	1.666	2.000
573.1	576.4	580.8	587.2	598.1	616.5	633.3	657.7	699.6	745.1	853.9	997.5	1198
.993	.997	1.002	1.010	1.024	1.049	1.073	1.110	1.176	1.250	1.428	1.665	2.000
672.4	676.1	681.0	689.2	709.5	721.4	740.6	768.7	817.2	870.1	996.7	1164.	1398
.994	.998	1.004	1.011	1.025	1.050	1.073	1.110	1.176	1.250	1.431	1.67	2.00
771.8	775.9	781.4	789.3	803.0	826.4	847.9	879.7	934.8	995.1	1140.	1331.	1598.
.997	1.000	1.004	1.013	1.025	1.050	1.074	1.111	1.172	1.249	1.42	1.67	2.00
871.5	875.9	881.8	890.6	905.5	931.4	955.3	990.8	1052.	1120.	1282.	1498.	1798.
.997	1.001	1.006	1.013	1.025	1.046	1.077	1.112	1.18	1.25	1.43	1.66	2.00
971.2	976.0	982.4	991.9	1008.	1036.	1063.	1102.	1170	1245.	1425.	1664.	1998
.998	1.000	1.006	1.011	1.03	1.05	1.07	1.11	1.18	1.25	1.43	1.67	2.00
1071.	1076.	1083.	1093.	1111.	1141.	1170.	1213.	1288	1370.	1568.	1831.	2198.
1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%

B

APENDICE 3

ENCUESTA Y REGULACIONES CCIR, CCITT

**INVENTARIO DE EQUIPO, SERVICIOS Y
NECESIDADES DE COMUNICACION**

SUPERINTENDENCIA DE COMUNICACIONES

REPORTE DE INVENTARIOREGISTRO

Día _____ Mes _____ Año _____
Ejecutó _____
Grupo _____
DDJ RTOC CCAOC
Otro (Especifique) _____
Area _____
Zona (Sector) _____
(Sub) Agencia _____
Otra (Especifique) _____

DATOS GENERALES

Tipo de Estación: Repetidor Base Móvil Portátil
Nombre de la Estación: _____
(para móviles; No. económico y No. de móvil)
Ubicación de la Estación: Latitud _____ Longitud _____
ASEM _____ ACIMUT _____
No. de la Estación (Base o Repetidora): _____
Resguardo del Equipo de Radio: _____
(Nombre de la persona)
Marca _____ Modelo _____
No. de Inventario _____
(ó No. consecutivo)
Año de puesta en operación: _____
Localidad de la Estación _____

**REGION DE TRANSMISION OCCIDENTE**

Marca del Vehículo y Modelo: _____

Canales de Operación:

C1 C2 C3 C4 C5 C6

No. de Registro en SCT (No. de llamada): _____

SISTEMA DE ALIMENTACIONBanco de Baterías: Marca _____ Tipo _____
(celda piloto) Voltaje _____

Cargador de Baterías: Marca _____ Mod. _____ No. Inv. _____

Inversor: Marca _____ Mod. _____ No. Inv. _____
Voltaje de salida _____Alimentación de Red: 110V 220V Red de Tierras: Si No Pararrayes: Si No **SISTEMA RADIADOR**Antena: Marca _____ Tipo _____ Polarización: horizontal
vertical

Ganancia _____ dB.

Impedancia de entrada _____ Ohms.

Acoplamiento entre antena y Línea de Transmisión: _____ Ohms

Línea de Transmisión: Marca _____ Tipo _____ Longitud _____ m.

Atenuación _____ dB/m

Tipo de Arreglo de Antenas: _____

TORRE:

Tipo de torre: _____

Calibre de Retenida: _____

Altura de la torre: _____ m

Distancia de la base de la torre a la caseta: _____ m

EQUIPO AUXILIAR

Consola (s) de control remoto: Marca _____ Mod _____

No. Inv. _____ Marca _____ Mod _____

No. Inv. _____

Micrófono (s) Marca _____ Mod _____ Tipo _____

Marca _____ Mod _____ Tipo _____

Cabeza de control: Marca _____ Mod _____ Tipo _____

Monitoreo automático: Marca _____ Mod _____

Línea de control remoto: Longitud _____ m, Tipo _____

Cable del conductor: _____

Panel repetidor _____

(marca e identificación de módulos)

EQUIPO DE RADIOCOMUNICACION

Potencia de salida de RF del Transmisor _____ W.

Sensibilidad del receptor _____ dBm.

SERVICIOS DE COMUNICACIONTipo de servicio: Control Administrativo Mantenimiento: Otro: _____

Funciones del Usuario: _____ Comunicación con: _____

Facilidades: TELMEN RADIO TELEX OTRAS: _____

Duración promedio de llamada _____ min. _____ seg.

No. promedio de llamadas al día: _____

Clase de servicio: Voz _____ Datos _____

Crecimiento esperado del Equipo de Radio: _____

Horario: 8 hrs. 16 hrs. 24 hrs.



REGION DE TRANSMISION OCCIDENTE

Disponibilidad:

De uso del Equipo _____ ?

Del Canal de Voz _____ ?

Tiempo promedio entre fallas: Real: _____ Deseado: _____

Tiempo promedio de reparación: Real: _____ Deseado: _____

Tipos de Interferencias: _____

Condiciones actuales del servicio: _____

Necesidades de Comunicación: _____

Necesidades futuras (a 10 años): _____

OBSERVACIONES: _____



CCIR

Rc. 393-4
Rc. 395-2
I. 288-2
Rc. 478-3
I. 533-1
Rc. 331-4
Rc. 332-4
ANEXO I
Rc. 594
I. 930
I. 376-4
I. 614-2
Rc. 399-3
I. 612-1
I. 613-2
Rc. 400-2
Rc. 369-3
Rc. 453
I. 563-2
I. 721-1
I. 882
I. 338-4
Rc. 338-2

N, L_N, W
 $N(L), I_N$
 N_{MUX}
ESPEC. MOVILES
SENSIB, SINAD
 $N, SENSIB, DEF'S$
SELECT, DEF'S, INTERMOD
 $N_F, SENSIB, S/N$
 10^{-7} (1%), 10^{-3} (0.05%)
 10^{-7} (0.01%-0.1%)
DIVERSIDAD, COMBINACION
LOBULOS, G, ALFA
MED. N
 N_I
MED.ERRORES
TIPOS CANALES, BW
 $n(h)$
 $N - n$
 $N - n, N(h), GRAD, VAPOR, DIS$
TRIB GOTAS, INDISP (LLUVIA)
GAMA, R, (K, ALFA) $H, V, INDISP. (LLUVIA)$
DISPERSION
K, DESV, DIV, ATEN, POLARIZ, ANALCG,
DIGITAL.
 BW, R_b

CCITT

Rc. P.53
Rc. Z.101
:
Z.104

PONDERACION SOFOMETRICA
LENGUAJE ESPEC. Y DESCRIP. FUNCIONALES.
(LED)