



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Análisis Teórico Para la Optimización de una Red de Transmisión, para un Sistema Móvil de Radiocomunicación Especializado en Flotillas Digital (Trunking)

T E S I S

Que para obtener el título de INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA Area Eléctrica Electrónica

p r e s e n t a n

Daniel Jiménez Avila

Héctor Mariño Chávez

Miguel Angel Aceves Saucedo

Ricardo Murillo Martinez

Victor Manuel García Maldonado

DIRECTOR : M.I. LUIS ARTURO HARO RUIZ

México D.F.

2000



281676



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

1. GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS	1
1.2 DIGITALIZACIÓN DE LA VOZ	3
1.3 ESTRUCTURA DE LAS SEÑALES DIGITALES	7
1.4 REDES DIGITALES	11
1.5 INTERFASES	14
1.6 SISTEMA MOVIL DE RADIOCOMUNICACION ESPECIALIZADO DE FLOTILLAS DIGITAL O TRUNKING	16
2. ANALISIS DE MEDIOS DE TRANSMISION Y CAPACIDADES	21
2.1 CABLES ELECTRICOS	22
2.2 CABLE COAXIAL	25
2.3 FIBRA OPTICA	26
2.4 MICROONDAS	28
3. PLANTEAMIENTO DE LAS NECESIDADES DE LA RED	31
3.1 REGIONES PARA LA COMUNICACION INALAMBRICA EN EL TERRITORIO NACIONAL	32
3.2 ESTADO ACTUAL DE LA RED	34
3.2.1 RED DE MICROONDAS A NIVEL NACIONAL	34
3.2.2 RED DE MICROONDAS PARA EL SERVICIO LOCAL	40
3.3 NECESIDADES DE LA RED	46
4. ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE CONEXION	48
5. SISTEMA DE GESTION	56
5.1 SISTEMA DE GESTION ACTUAL	56
5.2 SISTEMA DE GESTION OPTIMO	60
6. RADIO ENLACES DIGITALES DE MICROONDAS	64
6.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DIGITAL	64
6.2 RADIO DIGITAL	65
6.2.1 MODULACIÓN FSK	66
6.2.1.1 TRANSMISOR DE FSK	66
6.2.1.2 RECEPTOR DE FSK	67
6.2.2 CODIFICACIÓN EN M-ario	68
6.2.3 MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA	68
6.2.3.1 QAM DE DIECISÉIS	68
6.2.3.2 TRANSMISOR QAM DE DIECISÉIS	68
6.2.4 EFICIENCIA DE ANCHO DE BANDA	70
6.2.5 RENDIMIENTO DE MODULACIÓN	71
6.3. DESVANECIMIENTO POR MULTITRAYECTORIA	72
6.3.1 ANÁLISIS DE ASPECTOS DE PROPAGACIÓN	72
6.3.2 ANÁLISIS DE ASPECTO ATMOSFÉRICO	73

6.3.3 CÁLCULO DE TRAYECTORIAS	76
6.3.3.1 ZONAS DE FRESNEL	77
6.3.3.2 CÁLCULO DE ENLACE	78
6.3.3.2.1 RECEPCIÓN CON DIVERSIDAD DE ESPACIO	83
6.4 RUGOSIDAD DEL TERRENO	84
6.5 DISPONIBILIDAD DEL ENLACE	85
6.5.1 FACTOR DE PERFECCIONAMIENTO	86
6.5.1.1 DIVERSIDAD DE ESPACIO I_{SD}	86
6.5.1.2 DIVERSIDAD DE FRECUENCIA I_{FD}	87
6.6 DISPONIBILIDAD EN PORCENTAJE	87
EJEMPLO 1	89
EJEMPLO 2	94
EJEMPLO 3	99
7. PLANTEAMIENTO DE LA RED EN INTEGRACION LOCAL	104
7.1 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS	105
7.2 OPTIMIZACIÓN DE LA RED LOCAL	105
7.2.1 CENTRO DE CONMUTACIÓN	105
7.2.2 CONFIGURACIÓN DE LA RED EN ESTRELLA	107
7.2.3 CRECIMIENTO DE LA RED EN ESTRELLA	107
7.2.4 ANILLOS	110
7.2.4.1 CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE ANILLOS	110
7.2.4.2 INTEGRACIÓN DE ANILLOS	110
7.2.5 NODOS	112
7.2.5.1 DESCRIPCIÓN DE NODOS	112
7.2.5.2 CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE NODOS	113
7.2.5.3 DETERMINACIÓN DE TRÁFICO	114
7.3 ENLACE ENTRE REDES LOCAL Y NACIONAL	117
7.4 EQUIPAMIENTO	119
7.4.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE EQUIPO	120
7.5 TABLAS DE ENRRUTAMIENTO	127
8 RED NACIONAL	132
8.1 INTRODUCCIÓN	132
8.2 RED NACIONAL (BACK-BONE)	132
8.3. ANALISIS DE LA RED NACIONAL	134
8.4 REUTILIZACION DE LA RED EXISTENTE	136
8.5 INSTALACION DE LAS RUTAS CONCESIONADAS AUN NO INSTALADAS EN LA BANDA DE 7 GHz	140
8.6 ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS IMPORTANTES A INTERCONECTAR	142
8.7 PLANTEAMIENTO DE LA RED EN FUNCIONAMIENTO NORMAL	143
8.8 ANILLOS	146
8.9 NODOS	164
8.10 CENTROS DE CONMUTACION	166

8.11 PROGRAMACION DE RUTA DE COMUNICACIÓN SIN FALLA	166
8.12 REENRUTAMIENTO EN CASO DE FALLA	169
CONCLUSIONES	172
APÉNDICE A "DECIBEL"	173
APÉNDICE B "TORRES Y SUS CARACTERÍSTICAS"	177
APÉNDICE C "CAJETAS Y SUS CARACTERÍSTICAS"	182
APÉNDICE D "TERMINOLOGÍA"	185

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES HISTORICOS

En muchas ocasiones se tuvo cierta información para transmitirse a otra localidad lejana, pero esto no se podía hacer con el formato original de la misma, se requirió entonces de una representación diferente para su transmisión.

Cómo ejemplo, ¿Cómo una tribu de hace miles de años podía avisar a otra, distante en "n" kilómetros, que se les invitaba a una importante celebración?. El mensaje a transmitir es claro, la invitación. Para ello se podía enviar a una persona en un viaje agotador de varios días a dar el mensaje en su formato original de viva voz o por medio escrito, sin embargo, se contaba con un código para representar el mensaje en forma de señales de humo o sonidos acústicos, y así se evitaba el viaje, y desde luego era la manera más eficiente de transmitir el mensaje.

Así mismo, se ha tenido la necesidad de representar la información de distintos géneros, tales como: una carta, una gráfica o una operación bancaria, entre otras. En particular, se ha elegido al formato binario para transmitir la información, es decir con 1's y 0's para la representación.

Las comunicaciones de datos tienen poco más de cien años de historia. Su inicio se dio con la puesta en servicio del telégrafo, que fue el primer equipo para la transmisión de la información y que ha tenido una importancia decisiva hasta hace relativamente poco tiempo.

Sin duda uno de los más importantes eventos en la vertiginosa historia de las telecomunicaciones fue la invención del teléfono en 1876 por el señor Alexander Graham Bell.

En sus inicios, lo que se tenía era un enlace dedicado entre cada pareja de aparatos telefónicos que deseáran comunicarse. Es decir que si un padre tenía cinco hijos viviendo fuera de casa, requería de un enlace diferente con cada uno de sus hijos (cinco líneas).

Evidentemente, al ir creciendo el número de usuarios, se presentó el problema de la "madeja" de hilos telefónicos cruzando la ciudad. Se concibieron entonces los elementos de conmutación, de manera que un grupo de abonados ubicado dentro de una cierta zona estarían conectados a una sola central. Las centrales contarían con conexiones entre sí. Estos elementos de conmutación no eran más que operadoras a las cuáles se les indicaba de manera verbal con quién se deseaba hablar, la operadora efectuaba las conexiones necesarias de manera manual, ya fuera con el abonado si es que estaba en esa misma central, o con otra operadora

Siguiendo con el desarrollo y crecimiento de la planta telefónica, llegaron pronto los enlaces de larga distancia, pues fueron los que comenzaron a reeditar ingresos importantes a las compañías telefónicas.

Cobraron importancia así dichos enlaces, que empezaron a requerir de mayor capacidad, calidad y confiabilidad, para corresponder así a las necesidades que se fueron presentando.

Sin duda, la digitalización de estos enlaces a través de la técnica PCM (Pulse Code Modulation) vino a corresponder a estos requerimientos. En su inicio, esta técnica se utilizó sólo para mejorar y eficientizar los medios de transmisión, ya en los 60's y 70's aparecieron las centrales digitales y con ello los sistemas PCM se usaron también para conectar las antiguas centrales analógicas con las modernas centrales digitales.

La técnica PCM (Pulse Code Modulation) ó MIC (Modulación por Impulsos Codificados) en español, fué presentada en 1939 por el señor Aleec Reeves quien era ingeniero de la compañía ITT en Francia. Sin embargo, no fue sino hasta 1962 que con la ayuda del transistor y los circuitos integrados se pudieron fabricar en gran escala los sistemas PCM. Y ya en 1969 aparecieron las primeras centrales telefónicas de conmutación digital.

A lo largo del desarrollo de la humanidad, la posesión de diferentes bienes ha dado a unas sociedades supremacía sobre otras. En algún tiempo el elemento valioso fue el fuego, en otro las materias primas, las telas y los metales preciosos; mas recientemente se puede hablar del petróleo y la tecnología.

Siguiendo con esta idea, imaginemos cual será el elemento valioso para el próximo siglo. No es difícil encontrar la respuesta: la información.

Hasta hoy la mayoría de los sistemas de transmisión entre los elementos (centrales) de la red son digitales. Pero la transmisión y señalización hacia el suscriptor todavía es en algunos casos analógicos.

Mundialmente existe una creciente necesidad de transmitir información entre diferentes partes del mundo, y además ésta transferencia de información cada vez debe ser más rápida y barata, sin importar donde se encuentren localizados los puntos donde se desee dicha información.

Otra situación actual se presenta en los servicios de telecomunicaciones, y para hacer uso de ellos (telefonía, fax, datos, telex, datos en conmutación de paquetes, etc.) se debe contar con un acceso (línea) diferente, con un equipo terminal, interfase y redes diferentes.

1.2 DIGITALIZACIÓN DE LA VOZ

La transmisión de datos ha llegado a ser un componente importante para la rápida expansión del tráfico en las redes de telecomunicaciones, puesto que la mayoría de las instituciones públicas y privadas tienen la necesidad de una rápida transferencia de información entre instalaciones de procesamiento de datos.

La digitalización de enlaces a través de la técnica de **Modulación por Pulsos Codificados (PCM)**, vino a responder a estos requerimientos.

La modulación por pulsos codificados, consiste en representar las muestras instantáneas de una señal analógica mediante palabras digitales en un tren de impulsos en serie y la unidad de información **bit**. Así pues la cantidad de información es expresada en **bit/s**.¹

En primer lugar, se debe decidir el ancho de banda que se desea transmitir, pues se sabe que cualquier medio de transmisión tiene una capacidad finita, la cual hay que aprovechar adecuadamente. Sin embargo, en un canal con ancho de banda limitado, como la voz humana y, de acuerdo a experimentos prácticos, se sabe que la gran mayoría de la información útil se concentra en una banda de frecuencias de 300 a 3400 [Hz]². De tal suerte que con la transmisión de este ancho de banda se garantiza un efecto agradable al oído y suficiente para identificar a la persona que habla; pero hay limitaciones al rango de repetición, puesto que después de cierto valor, los elementos de datos binarios o símbolos, se interfieren y causan errores. Este fenómeno se conoce con el nombre de interferencia de intersímbolos

La máxima velocidad a la cual los símbolos pueden ser transmitidos sin interferencia alguna de intersímbolos en los instantes de muestreo, ha sido determinada por Nyquist y es el doble del ancho de banda del canal para un canal ideal sin distorsión².

El matemático Harry Nyquist, estableció una relación rectangular teórica entre la velocidad de transmisión digital y el ancho de banda de un canal libre de distorsión. Tal estudio demostró que el ancho de banda necesario en un canal de comunicación es directamente proporcional a la velocidad de transmisión de las señales. También comprobó que el ancho de banda máximo necesario para la transmisión de una señal en esencia es igual a la mitad del número de impulsos binarios por segundo.

$$V = 2B$$

En donde:

V : velocidad de transmisión en bits por segundo.

B : ancho de banda máximo necesario del canal en hertz.

¹ MANUAL OPERATIVO REXTEL

² ENRIQUE HERRERA PEREZ, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA TELEFONICA

Nyquist hizo ver que aunque existía un límite en cuanto al número de impulsos que se podrían transmitir por segundo, un impulso podría tener varios niveles o estados distinguibles, cada uno de los cuales serviría para conducir información.

Para el caso concreto de la telefonía digital, hemos dicho ya que la limitación en banda llega hasta los 3400 [Hz], por lo que la frecuencia de muestreo podría ser de 6800 [Hz]. Sin embargo esto nos significaría el tener filtros de corte ideal y requerimientos muy estrictos en la circuitería, por lo que se decide emplear una frecuencia de muestreo de 8 [kHz], es decir 8000 muestras por segundo.

En la transmisión de señales digitales como en los sistemas analógicos el ruido también está presente, el cual puede ser externo o generado por los propios elementos del sistema. Aunque existe la generación, el ruido no se acumula como en los sistemas analógicos, es necesario tener una buena relación entre la señal **S** y el ruido **N** que se reciben. Un valor de **S/N = 40 [dB]** es aceptable en un enlace telefónico³.

El Ing. Claude E. Shannon descubrió que es posible reemplazar un ancho de banda **B** por la relación señal a ruido **S/N** sin afectar el flujo de información, o bien el volumen de información que se puede transmitir en una unidad de tiempo. Fenómeno que demostró de una manera muy sencilla. Shannon utilizó un cubo para ejemplificar el volumen de información a transmitir, como el volumen contenido por el cubo, mientras se guardara la proporción entre el ancho y el alto el volumen no se vería afectado. En otras palabras el ancho es el ancho de la banda **B** y el alto es la relación **S/N**, si duplicamos el ancho de la banda igual a **2B** tendremos que disminuir la relación **S/N** a la mitad y así el volumen no se ve afectado, como se puede observar en la figura 1.1:

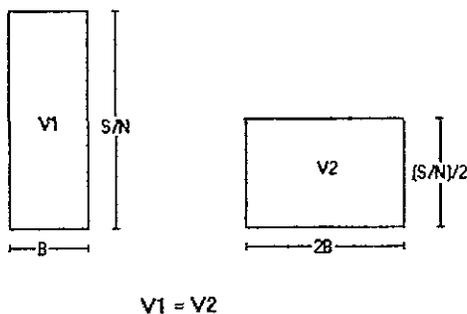


Figura 1-1. Conceptualización de Shannon

³ ENRIQUE HERRERA PEREZ, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA TELEFONICA

Shannon llamó a esto la capacidad del canal y se representa como sigue⁴:

$$C = B \log_2 (1 + S/N)$$

En donde:

C : Capacidad del canal o bits por segundo

B : Ancho de banda limitante en hertz

S/N : Relación señal a ruido, donde S y N están en watts

En la práctica esto significa que se puede obtener una transmisión libre de error aunque se reduzca substancialmente la relación S/N siempre que se incremente el ancho de banda en la misma proporción. Lo que significa que en sistemas digitales se pueden manejar valores de S/N dentro del orden de los 15 [dB] en comparación con los sistemas análogos que en el mismo caso deberían tener cuando menos 40 [dB].

La señal **PAM** o señal de pulsos modulados por amplitud, es el resultado de la multiplicación en el dominio del tiempo de la señal de voz con un tren de pulsos periódicos a la frecuencia de muestreo. La separación entre estos pulsos es el inverso de la frecuencia de muestreo, es decir $1/8000$ [Hz] = 125 microsegundos.

Hasta ahora no se ha hablado de las señales digitales, pues la señal PAM sigue siendo analógica. La digitalización se da cuando al valor de la muestra se le asigna el valor más cercano dentro de un conjunto de valores finitos que se tengan, posteriormente, este valor se codifica en una combinación binaria única de 1's y 0's. A la primera parte de este proceso se le denomina cuantización y a la segunda codificación.

En los sistemas PCM se emplea la ley de cuantización denominada ley A. Esta consta de una curva de 13 segmentos, 6 para la parte positiva y 6 para la parte negativa y uno más que es colineal y cruza el cero de la curva⁵. En la parte horizontal de esta curva se tienen los valores normalizados a un cierto voltaje máximo permisible, y en el eje vertical se tienen los valores posibles para asignar a las muestras. Se tiene un total de 256 valores, siendo la mitad para la parte positiva y la otra para la negativa.

Al efectuar un muestreo de la señal en los tiempos señalados por alguna ley de cuantización se le denomina proceso de compresión, que es utilizado en la transmisión, siendo necesario en la recepción un proceso similar pero inverso, denominado de expansión.

Al muestrear una señal con la Ley A de cuantización, sabemos que se tienen 256 umbrales de cuantización, cuya representación en números binarios requiere de 8 bits y están organizados como sigue: el bit más significativo (el primero de izquierda a derecha) indica el signo de la muestra, es decir esta arriba o abajo de la curva. Los tres siguientes indican el segmento en cuestión y por último, los cuatro bits restantes indican

⁴ MANUAL OPERATIVO REXTEL

⁵ MANUAL OPERATIVO REXTEL

en que paso de cuantificación se ubica el valor de la muestra. Una vez que se tienen las palabras de cada muestra se procede a invertir los bits impares, esto es para evitar una secuencia larga de ceros.

Por ejemplo el valor de cero positivo se representa como:

<u>1</u>	<u>1 0 1</u>	<u>0 1 0 1</u>
signo	segmento	paso de cuantización

Se describió el proceso para obtener las palabras de 8 bits que representan las muestras tomadas a 8000 veces por segundo de una señal de voz. Sin embargo este proceso se repite cada 125 microsegundos, dejando tiempo suficiente como para hacer algo más. De hecho, este tiempo se emplea para efectuar el mismo proceso pero ahora con otra señal.

Para aclarar este concepto, pensemos que tenemos "n" señales a muestrear. En el inicio tomamos la primera muestra de la señal 1, inmediatamente después tomamos la primera muestra de la señal 2, así hasta tener todas las primeras muestras de las "n" señales. En este momento deben haber transcurrido 125 microsegundos, para poder tomar la segunda muestra de cada señal.

Esta técnica de multiplexaje se denomina, multiplexión por división de tiempo TDM. Aprovecha el tiempo libre del medio de transmisión.

En la norma europea se multiplexan las muestras de 30 señales analógicas. Además de los 30 canales, se tienen 2 más de 8 bits para funciones de señalización, control y sincronía⁶.

Resumiendo, la velocidad del canal para cada señal de voz es de 8000 muestras por segundo, como se asignan 8 bits para la representación de cada muestra, es igualmente para el la norma europea y americana es igual a $8000 \times 8 = 64,000$ [bits/segundo] ó 64 [kbps]. Ahora la velocidad de línea de la señal digital para la transmisión es de $(30+2) \times 64,000 = 2.048$ [Mbps], porque se tienen 30 señales analógicas y dos de control y sincronía

⁶ MANUAL OPERATIVO REXTEL

El canal de voz 1 (más bien las muestras) ocupa el intervalo de tiempo 1, pero el canal de voz 16 ocupa el intervalo 17. Por lo que a veces es necesario un poco de atención para saber si se está hablando de canales de voz o intervalos de tiempo. Existe una agrupación superior en la que un conjunto de 16 tramas constituyen una multitrama. Las tramas se numeran del 0 al 15 dentro de una multitrama, y el tiempo de repetición de multitrama es de $16 \times 125 \text{ } [\mu\text{s}] = 2 \text{ [ms]}$

La señal de alineación de la trama (FAS=Frame Aligment Signal), la cual se encuentra en los intervalos 0 de las tramas pares (0, 2, 4,....., 14), tiene el siguiente formato: 00011011. El primer bit se emplea para la revisión cíclica de redundancia, es decir, CRC por sus siglas en inglés, en caso de no utilizarse, se recomienda que se ponga con valor de 1. El resto de los bits necesariamente deben tener el valor indicado. Su función consiste en indicar al receptor el inicio de cada trama, de esta forma y contando los bits, se pueden separar los bits que corresponden a las muestras de cada canal.

La señal de no alineación de la trama (NFAS=Not Frame Aligment Signal), la cual se encuentra en el intervalo de tiempo 0 de las tramas impares (1, 3, 5,....., 15), tiene el siguiente formato: C 1 A S4 S5 S6 S7 S8.

El bit 1; (C) se emplea también para el CRC.

El bit 2; siempre debe de ser 1 pues su homólogo en la FAS es 0 y así siempre se podrán distinguir.

El bit 3 (A); es la alarma remota de la trama, su estado natural es 0 y en 1 indica al extremo distante que se tiene algún problema con la señal digital que se está recibiendo.

bits 4 al 8; denominados bits "S" (*de "spare" en inglés*), también llamados bits de uso nacional, no tienen un uso específico, algunos fabricantes ofrecen la opción para poner un canal auxiliar de datos aquí, también algunos multiplexores transfieren comandos y configuraciones, etc. Pero en todo caso, cuando no tengan un uso especial, se recomienda que su estado sea 1.

Intervalo de tiempo 16 de la trama 0

Palabra y señal de alineación de multitrama (MFAS), con formato 0000. Esta palabra ocupa los primeros 4 bits de éste intervalo y su función es indicar al receptor cual de las tramas comienza la multitrama. En los siguientes 4 bits se tiene la palabra de no alineación de multitrama (NMFAS), con formato 1011. De estos, el único con opción a cambio es el segundo bit (siendo en la palabra MFAS el sexto bit), su estado normal es 0, pero cuando el receptor tiene algún problema de alineación de multitrama se le indica al extremo lejano, poniendo este bit en 1. A este bit se le denomina alarma distante de multitrama.

Intervalo de tiempo 16 de las demás tramas

Aquí viaja la señalización asociada al canal. En este intervalo, en la trama 1, viaja en los primeros 4 bits el estado de señalización de línea para el canal de voz 1, en los siguientes 4 bits, el estado del canal 17. En la trama 2 va la señalización del 2 y del 18, y así sucesivamente. Por eso la multitrama tiene 16 tramas, pues se requieren 15 tramas para llevar la señalización de los 30 canales y una más para indicar el inicio de la multitrama.

A los 4 bits que indican el estado de señalización de línea de cada canal se les denomina bits abcd. En México, en la mayoría de los casos (salvo enlaces internacionales y servicios especiales) se utiliza el sistema de señalización R2. En este sistema los bits c y d son siempre 0 y 1 respectivamente. Y son los bits a y b los que indican los estados de libre, toma, reconocimiento, bloqueo, en conferencia, etc.

Lo anterior es válido para cuando se emplea señalización asociada al canal. Sin embargo hoy día se está comenzando a emplear la señalización de canal común (CCITT No. 7). En este caso, el TS 16 es un canal como cualquiera de los demás y transporta datos que contienen la información de señalización de este complejo pero beneficioso protocolo.

Alarmas en los sistemas PCM

Son varias las situaciones de alarma que se pueden presentar en un enlace, a continuación se explican:

1. No-señal.- Este evento se da cuando existe una ausencia total de la señal o cuando se tiene una atenuación muy grande y el voltaje que nominalmente debe ser de ± 2.37 V está por debajo de lo permitido. A veces esto se debe a malos contactos, conectores deficientes, cables machucados, entre otros daños.
2. La señal de indicación de alarma (AIS Alarm Indication Signal) Consiste en generar una señal compuesta exclusivamente por "1"s. Es decir carente de toda estructura de trama. Esta señal se presenta por ejemplo cuando un demultiplexor pierde señal o sincronía, y manda entonces un AIS a los servicios de salida.
3. Deslizamiento (SLIP).- Se presenta cuando hay problemas de sincronía, por ejemplo al conectar dos centrales que operan con relojes distintos. En un cierto momento, la diferencia de fase entre el reloj local y el de la señal que se recibe puede ser tal, que obligue al receptor local a desechar uno o más bits. Esto sucede aunque en las centrales se tienen memorias estáticas que compensan hasta cierto límite este efecto, se dice que se tuvo un corrimiento o deslizamiento pues aparecen bits de más (slip positivo) o faltan bits (slip negativo).
4. Pérdida de sincronía de la señal.- Por inestabilidad en los osciladores, derivado, a veces, por malas tierras, la velocidad de línea de la señal digital puede estar fuera

de un cierto rango y dificultar su reconocimiento por parte del receptor. De hecho el ITU-T establece en la Recomendación G.703 una variación máxima de ± 50 [ppm], lo que equivale para el caso de 2.048 [Mbps] a ± 100 [Hz] aproximadamente.

5. Pérdida de sincronía de trama.- Esta alarma se presenta cuando se tienen demasiados errores y aunque si se identifica la presencia de señal, no se encuentra la FAS. En otras palabras se identifican los "1"s y los "0"s, pero no se encuentra la combinación de ellos que compone a la FAS.
6. Pérdida de sincronía de multitrama.- Igual que la anterior pero para la MFAS.
7. Alarma remota de trama - Cuando el bit 3 de la NFAS (TS 0 tramas impares) está en estado alto. Vale la pena mencionar aquí que en la mayoría de los equipos se puede configurar que este bit se ponga en estado alto para ciertas situaciones, por ejemplo falla interna del equipo.
8. Alarma remota de multitrama.- Igual que la anterior pero para el caso del bit 6 del TS 16 de la trama 0, o bit 2 de la NMFAS.
9. Errores de CRC.- En el caso de emplear la verificación redundante, cuando un receptor detecta errores de CRC, tiene unos bits denominados bits "E" para indicar al otro extremo esta situación. Con este conteo se puede tener idea de la calidad con que se está recibiendo en el otro lado.
10. $BER > 1 \times 10^{-3}$.- La mayoría de los sistemas son capaces de identificar y llevar el conteo de los errores sobre la señal que recibe. Como sobre la información contenida en los canales de voz no se puede evaluar nada (pues se desconoce el valor verdadero), entonces se emplea FAS, (cuyo valor es constante) para efectuar la evaluación. Normalmente un BER de 1×10^{-3} indica que 1 de cada 1000 FAS se ha recibido con errores.

Verificación del Ciclo de Redundancia (CRC)

Con el objetivo de aumentar la confiabilidad en los enlaces, se dispone de mecanismos que permiten verificar la ocurrencia de errores. Un ejemplo de estos mecanismos es el CRC (Check Redundancy Cycle), que a grandes rasgos consiste en lo siguiente. En el emisor se toma una multitrama, se parte en dos siendo cada mitad una submultitrama (compuesta de 8 tramas). Los bits de cada submultitrama se emplean como coeficientes de un polinomio, el cual se dividirá entre un cierto polinomio generador ya establecido, del residuo de esta división se toman los coeficientes para sacar cuatro bits que irán en los primeros bits de las 4 primeras FAS de la siguiente multitrama. Se hace lo mismo para la otra submultitrama (con lo que se ocupan los bits 1 de las 8 FAS que hay en la multitrama).

De esta forma, cuando el receptor recibe una multitrama realiza el mismo cálculo, y compara el residuo con el que viene en la siguiente multitrama. De no ser idénticos se asume que ocurrieron errores en el medio de transmisión.

Faltan aún por explicar los bits 1 de las 8 NFAS. Los 6 primeros tienen el formato 010011 y se llaman palabra de alineamiento de multitrama del CRC y permiten distinguir donde comienza una multitrama, cuando no hay estructura de multitrama por el empleo de señalización de canal común. Los dos restantes bits son los bits "E". Cuando el receptor detecta errores en la primera submultitrama, pone el primer bit E en alto para indicarle al otro extremo; una función similar tiene el segundo bit E.

1.4 REDES DIGITALES

La humanidad está ahora ante el reto de crear la infraestructura necesaria para brindar a sus miembros el acceso a los bancos de información, una posibilidad para establecer la comunicación entre varios usuarios fue en un inicio, el establecer un enlace entre cada uno de ellos. Sin embargo, al crecer el número de usuarios, la cantidad de circuitos requeridos crece demasiado. Esto se vio claramente que no era nada funcional.

El siguiente paso fue el desarrollo de elementos capaces de establecer enlaces físicos entre sí pero sólo por un cierto tiempo, es decir, por ejemplo durante una llamada telefónica. Genéricamente a estos elementos les llamaremos elementos de conmutación. Con ellos los usuarios solo necesitan un circuito de acceso a estos elementos que se encuentran relativamente cerca y para establecer la comunicación con el otro usuario, los conmutadores proveen del circuito necesario.

En la actualidad, una red telefónica está constituida por una gran cantidad de centrales públicas que conmutan señales tanto analógicas como digitales. Estas centrales permiten el acceso de manera analógica a los usuarios comunes y también proveen enlaces de 2 [Mbps] para la conexión de conmutadores digitales empresariales.

Hablando de conmutación digital, básicamente se tienen dos técnicas, la conmutación por división de tiempo y la conmutación por división de espacio.

Para que la conmutación se pueda llevar a cabo, se requiere de un intercambio entre quien solicita un servicio y quien lo provee. Este intercambio necesariamente requiere de un formato que sea respetado por todos los miembros de la red. Esta información es precisamente lo que se conoce como señalización.

Entre sus funciones, la señalización tiene como responsabilidad la de establecer la comunicación entre dos usuarios de la red, debe seleccionar los medios de transmisión y las rutas adecuadas para este fin, y por supuesto debe también permitir la tarificación del servicio prestado.

Dependiendo de entre quien se realiza el intercambio de señalización, existe la señalización del usuario y la señalización entre centrales; la primera se da entre la central pública y el usuario común, y la segunda se da entre los elementos de conmutación, ya sea entre las centrales públicas, entre conmutadores o entre combinaciones de ambos. En ambos casos existe la señalización de la línea que indica el estado del circuito y el registro para indicar con quien se desea hablar, así como para la primera señalización tenemos además señales acústicas como los tonos, rings, etc. y para la segunda, obtenemos la tarificación del servicio.

A fin de economizar en medios de transmisión, en los enlaces punto a punto que transporten señales de voz, se utiliza una técnica de compresión, que lo único que hace es que en lugar de ocupar todo un canal de 64 [kbps], una señal de voz puede ocupar 32, 16 ó hasta 8 [kbps]. Evidentemente a mayor compresión, se afecta más la calidad de la comunicación; sin embargo hoy la compresión a 32 [kbps] se usa ampliamente en redes celulares con excelentes resultados. La técnica empleada para la compresión se denomina ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation).

Básicamente, funciona en base, a los valores anteriores y a complejos polinomios, prediciendo el valor que va a tomar la siguiente muestra; de tal suerte que sólo se transmite el error o diferencia entre el valor predicho y el real.

Las señales digitales trabajan necesariamente bajo la coordinación de un reloj de cierta velocidad; todos los dispositivos existentes (multiplexores, conmutadores, centrales, etc.) tienen su propio reloj con el cual son capaces de trabajar independientemente. Sin embargo, al integrarse algún elemento a la red y comenzar a interactuar con otros elementos, viene la necesidad de utilizar un mismo reloj para todos, teniendo todos los elementos la posibilidad de trabajar con su propio reloj o de utilizar uno externo; ya sea externo como tal o recuperado de la señal digital que reciben.

Con esto existe la operación plesiócrona, en la cual cada nodo de la red opera con su propio reloj, por lo que se requiere de mecanismos para el control de las desviaciones de fase entre relojes; y existe también la operación síncrona, en la cual los elementos de la red operan gobernados por una señal de reloj externa. En enlaces punto a punto se emplea mucho la operación en modalidad maestro-esclavo, de igual manera puede existir una estación maestra que proporcione la señal de reloj a todas las demás estaciones. En los últimos años este tema ha cobrado mucha relevancia pues si se desea calidad en el servicio brindado, sin duda la sincronía juega un papel decisivo.

Pasemos ahora a describir las funcionalidades de algunos tipos de productos que comúnmente se emplean en las redes digitales:

Bancos de canal: estos dispositivos toman 30 señales analógicas y/o digitales y las integran en una señal digital de 2 [Mbps].

Equipos terminales: normalmente estos equipos son propiedad de los usuarios de redes digitales y se distinguen dependiendo del tipo de servicios que brindan, por

ejemplo ruteadores (routers) o puentes (bridges) que permiten la interconexión entre redes.

Multiplexores flexibles: estos equipos permiten el manejo eficiente del ancho de banda de 2 [Mbps], pues permiten la integración de servicios de voz y datos con un solo equipo; los servicios variarán dependiendo de las tarjetas y las interfaces de que se dispongan.

Multiplexores : éstos normalmente tienen tres puertos de 2 [Mbps], todos con Transmisión (Tx) y Recepción (Rx) de datos, considerando uno de entrada, otro de salida y un tercero de bifurcación. Básicamente, su función es enrutar alguno de los canales entrada al de salida y otros al de bifurcación; asimismo, algunos canales que entran por el puerto de bifurcación pueden ir a dar al puerto de entrada o al de salida.

Cross-conector: dispositivos imprescindibles en la construcción de redes de conmutación de circuitos digitales, a grandes rasgos un cross-conector posee N puertos de 2 [Mbps] (Tx y Rx), de manera que la información que viaja en el Time Slot (TS) 5 de una cierta señal de 2 [Mbps] se puede decidir ponerla en el TS 23 de otra señal de 2 [Mbps]. Esta funcionalidad permite establecer rutas y trayectorias permanentes sin tener que contar con medios de transmisión entre todos los puntos.

Existen además diversas maneras de efectuar la cross-conexión:

La cross-conexión convencional, descrita con anterioridad, utilizadas en aplicaciones Broadcast, esto es que se puede configurar que lo que entra en un TS salga en dos o más señales de 2 [Mbps], estas señales de 2 [Mbps] pueden ir a distintos lugares, una aplicación sería por ejemplo establecer un enlace punto a multipunto (videoconferencia en un solo sentido) y por último las conexiones redundantes, para brindar seguridad y respaldo a enlaces que así lo requieran.

Equipo de protección: estos equipos se colocan en los extremos de un enlace y sirven para seleccionar entre dos señales que se estén recibiendo de distintos medios de transmisión. Con esto se disminuye el tiempo medio en fallas, ya que para perder el enlace totalmente, tendrían que fallar las dos señales, que incluso en muchas ocasiones el medio de transmisión es distinto (fibra óptica y radio, por ejemplo).

1.5 INTERFASES

Al final de cada enlace, existen equipos con los cuales desea uno comunicarse, estos pueden ser, equipos grandes de cómputo (mainframes, servidores, etc.), teléfonos, computadoras, faxes, entre otros. para ello se requiere un punto de conexión entre un DTE y un DCE⁷, y sus funciones principales son:

- Proveer la temporización del DTE al DCE o viceversa
- Pasar los datos en ambos sentidos
- Controlar el flujo de la información

Para cumplir con estas funciones, en dicha interfase se tienen señales de control, de temporización y de Tx/Rx de datos. Por lo cual se han desarrollado diversos tipos de interfases siguiendo las necesidades y los intereses de los fabricantes, dentro de las cuales tenemos como la más conocida la V.24 en Europa o RS-232 en Estados Unidos.

Se puede apreciar que las interfases juegan un papel muy importante, pues permiten el intercambio de información entre dispositivos, existe una variedad amplia de interfases diseñadas para este fin, por lo que solo mencionaremos las más importantes.⁸

Interfase V.24 / RS 232

Denominada en Europa V.24 por el ITU-T y RS-232 por la EIA en Estados Unidos, esta interfase es muy popular para comunicaciones entre PC's y modems. De hecho se le incorpora como el puerto serial en todas las PC's de hoy día.

Entre algunas de sus características destacan las siguientes:

- Características eléctricas de acuerdo a la V.28 del ITU-T, en donde se establece que es una interfase con circuitos desbalanceados.
- El voltaje comúnmente usado es el de ± 12 [V]
- Velocidades de hasta 20 [kbits/s]
- Distancias cortas para los cables, no más de 35 [m]
- Muy susceptible al efecto de ruidos externos.

La interfase V.24, físicamente puede estar en un conector tipo DB de 25 pines, o de 9 pines, además en el equipo DTE debería de tener un conector macho y el DCE un hembra en el de 25 pines; típicamente un nivel alto o '1' lógico estará entre -3 [V] ó menos y un nivel bajo o '0' estará entre $+3$ [V] ó más.

⁷ UN DTE (DATA TERMINAL EQUIPMENT) ES EL ELEMENTO QUE GENERA Y RECIBE LOS DATOS.
UN DCE (DATA COMMUNICATIONS EQUIPMENT) ESTE EQUIPO RECIBE LA INFORMACIÓN DEL DTE.
⁸ V. HALL, DOUGLAS, "MICROPROCESSORS AND INTERFACING", MCGRAW-HILL

A continuación se muestra una tabla con las señales de los pines de una interfase RS-232:

NÚMERO DE PIN	NOMBRE COMÚN	DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN DE LA SEÑAL EN UN 'DCE'
1		Protective Ground	-
2	TXD	Transmitted Data	IN
3	RXD	Received Data	OUT
4	RTS	Request to Send	IN
5	CTS	Clear to send	OUT
6	DSR	Data Set Ready	OUT
7	GND	Signal Ground	-
8	CD	Received Line Signal Detector	OUT
9		(Reserved for Data Set Testing)	-
10		(Reserved for Data Set Testing)	-
11		Unassigned	-
12		Secondary Rec'd. Line Sig. Detector	OUT
13		Secondary Clear to Send	OUT
14		Secondary Transmitted Data	IN
15		Transmission Signal Element Timing	OUT
16		Secondary Received Data	OUT
17		Receiver Signal Element Timing	OUT
18		Unassigned	-
19		Secondary Request to Send	IN
20	DTR	Data Terminal Ready	IN
21		Signal Quality Detector	OUT
22		Ring Indicator	OUT
23		Data Signal Rate Selector	IN/OUT
24		Transmit Signal Element Timing	IN
25		Unassigned	-

Tabla 1.1. Terminales de conexión en Interfase RS-232

Los pines 15, 17, 21 y 24 son usados para comunicaciones síncronas, mientras de los pines 12, 13, 14, 16 y 19 son para algunos modems que requieren comunicación con un canal secundario.

Interfase V.35

Esta interfase es más usada en equipos seriales que requieren mayor velocidad a la V.24, dentro de sus características principales tenemos a las siguientes:

- Características eléctricas de acuerdo a la Rec. V.11, en donde se especifica que los hilos funcionan como circuitos balanceados.
- Permite mayores distancias, hasta de 200 [m]
- Mucho más inmune a interferencias externas.
- Alcanza velocidades mucho mayores, de hasta 2.048 [Mbits/s]
- Los hilos de control funcionan prácticamente de la misma manera que en la V.24.

Con éstas interfases se pueden trabajar comunicaciones asíncronas y síncronas, pero adicionalmente se requiere un protocolo de comunicación, que no es si no una serie de reglas de la forma en que los datos deberán ser transmitidos; siendo los más conocidos el utilizado por IBM como el SDLC (Synchronous Data Link Control protocol) y el HDLC (High level Data Link Control protocol) propuesto por el ISO (International Standards Organization), en donde básicamente son lo mismo, y trabajan con dichas interfases, más sin embargo IBM implantó más instalaciones con dicho protocolo.

1.6 SISTEMA MOVIL DE RADIOCOMUNICACION ESPECIALIZADO DE FLOTILLAS DIGITAL O TRUNKING.

El sistema de radio TRUNKING analógico surge en los Estados Unidos como resultado de la saturación de frecuencias de radio convencional. Estas frecuencias de radio fueron utilizadas fundamentalmente en sistemas móviles que operaban en la banda de VHF-FM (132-174 [MHz]) y UHF-FM (450-479 [MHz]), y han sido de gran utilidad para ciertos sectores, ya que el concepto de radio convencional considera la obtención de una cierta frecuencia en la banda de radio para uso privado que es controlado por las autoridades de comunicaciones (en México S.C.T. y en E.U.A. la F.C.C.); en virtud de que la banda de radio es un recurso limitado y que dicha banda llegó a alcanzar la saturación en las zonas con mayor densidad de población en el mundo, algunas compañías de radiocomunicación desarrollaron tecnologías que pudieran superar el problema planteado, y de ésta forma nace el sistema TRUNKING.

.Definición asignada por Motorola de México

Trunking : Es el compartimento automático de un pequeño número de canales de comunicación entre un gran número de usuarios.

Definición asignada por Secretaria de Comunicaciones y Transportes

Servicio Móvil de Radiocomunicación Especializada de Flotillas: Consiste en el servicio de radiocomunicación de voz y datos a grupos de usuarios determinados, utilizando la tecnología de portadoras compartidas.

La solución al problema anterior se obtuvo con gran cantidad de beneficios y aplicaciones, ya que además de lograr compartir canales de radio para un número grande de usuarios, apoyado en el uso de electrónica digital y otros elementos tecnológicos modernos, se logró un producto que satisfacía requerimientos adicionales de comunicación a los que habitualmente se podían obtener con el radio convencional, ya que su eficiencia se apoyaba en las siguientes consideraciones:

- El porcentaje de tiempo que requiere un usuario del canal de comunicación es pequeño.
- La probabilidad de que muchos usuarios requirieran al mismo tiempo un canal de comunicación es extremadamente baja.

Además de los grandes beneficios que ofrecía como:

- Utilización eficiente de recursos al distribuir el tráfico entre las posibles vías de comunicación.
- Utilización eficiente del espectro
- Incremento en la probabilidad de obtener un canal libre para las comunicaciones
- Proveer simplicidad de operación
- Eliminar la necesidad de monitorear el canal antes de transmitir
- Proveer continuidad en las conversaciones

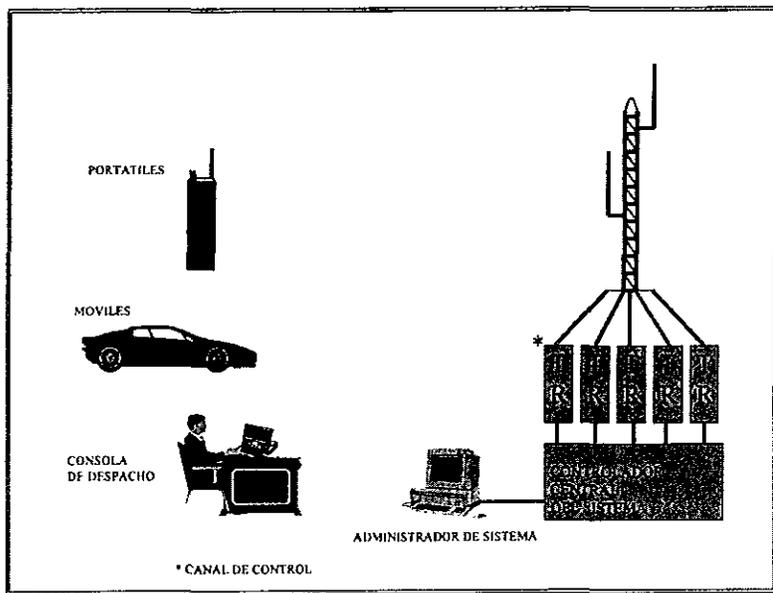


Figura 1.4 Trunking Analógico

No habiendo ninguna duda de la necesidad del ser humano de comunicarse el sistema analógico llegó a ser insuficiente para la industria en un tiempo no muy largo.

En esta etapa tecnológica de la tecnología surge el Trunking Digital (sistema Motorola iDEN).

Trunking analógico	iDEN
Una conversación por par de frecuencia	Hasta 6 conversaciones por par de frecuencia
Servicio de despacho	Despacho digital y otros servicios integrados
Unidades portátiles y móviles de gran tamaño	Unidades portátiles y móviles compactas
Buena calidad de voz	Excelente calidad de voz
Posibilidad de que la comunicación sea interceptada	La tecnología digital permite comunicaciones confiables

Tabla 1.3 Comparativo entre los sistemas analógicos y digitales

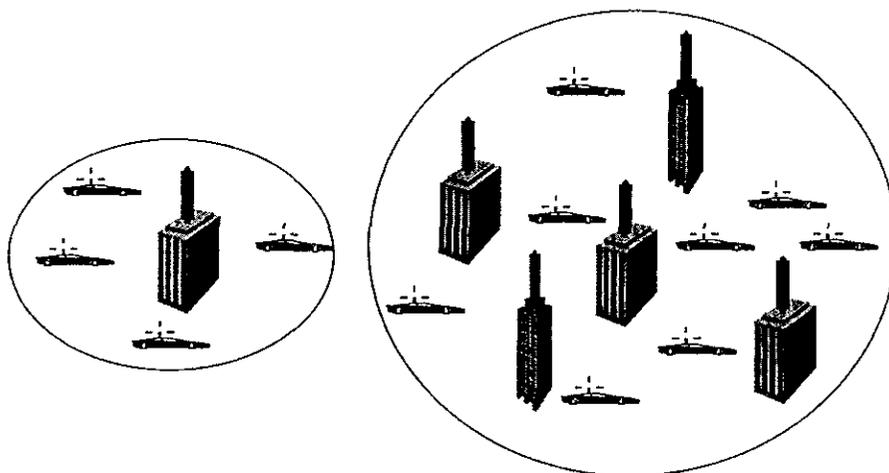


Figura 1.5 Trunking Analógico y Digital

Sistema iDEN (integrated Digital Enhanced Network)

El sistema iDEN incrementa la eficiencia del canal de radiofrecuencia de 25 [kHz] hasta 6 veces. Además del incremento en la eficiencia del canal de RF, soporta servicios de usuarios visitantes (Roaming), permitiendo a los usuarios interconectarse con áreas de servicio en donde este implementado el sistema, como si fuera local.

El sistema iDEN, cuenta con varios servicios tales como:

Envío de mensajes breves. Este servicio permite enviar, a través de una PC y un módem, un mensaje alfanumérico de hasta 140 caracteres hacia las terminales del usuario. Además se pueden enviar mensajes numéricos desde cualquier terminal de tonos, ya sea Radio Móvil Digital o desde la Red Telefónica Pública.

Interconexión telefónica Full Duplex. En el sistema Trunking Digital es posible ofrecer a los usuarios interconexión a la Red Telefónica Pública en forma Full Duplex desde equipos de usuarios portátiles.

Transmisión de datos. Con este servicio, se pueden transmitir datos hacia o desde una computadora conectada directamente a una terminal de usuario; puesto que en este sistema la transmisión vía aérea utiliza formato digital, no es necesario la utilización de un módem conectado al radio Trunking para esta transmisión de datos.

Seguridad en la comunicación. El sistema utiliza codificación de voz VSELP (Vector Sum Linear Prediction), por lo que es prácticamente imposible que la comunicación sea interceptada por personal no autorizado, brindando así una gran privacidad a los usuarios.

Canal de Radio Frecuencia y banda de frecuencia

La capacidad de información de un canal de radio frecuencia usada en el sistema iDEN es aproximadamente 64 [kbps]. La modulación utilizada es M16-QAM. Esta técnica, es lineal y provee una combinación altamente deseable de eficiencia en la modulación, sensibilidad de canal y relaciones de portadora a interferencia aceptables y baja interferencia de canal adyacente.

El rango de frecuencia utilizado por la red iDEN es 806-821 [MHz] / 851-866 [MHz] con portadoras espaciadas cada 25 [kHz]. La separación entre el par de transmisión - recepción es de 45 [MHz]. Se incluye también la capacidad para admitir desviaciones de 12.5 [kHz].

Codificación Lineal Predictiva Excitada por Vector Suma (VSELP)

Hoy en día, una de las principales preocupaciones del usuario es la privacidad y confidencialidad de sus conversaciones. Para lograrlo fue necesario utilizar un método que codificará la voz transmitida, y que únicamente el receptor autorizado pudiera decodificarla.

El sistema iDEN cuenta con el sistema digital de codificación de voz llamado VSELP. (Vector Sum Linear Prediction).

Método de acceso al canal de radio

El sistema iDEN divide la portadora de RF en espacios de tiempo discretos (time slot) de 15 [ms]. Esto incluye la sobrecarga para encendido del transmisor, preparación, temporización y retardo de propagación. Los datos auxiliares incluidos dentro de los espacios proveen señalización asociada al tráfico de datos y voz. Un grupo de slots de un grupo de portadoras de RF es dedicado al control de la troncalización. El acceso del canal de control se obtiene vía un protocolo de reserva.

El sistema iDEN utiliza la tecnología TDMA (Time Division Multiple Access); esta tecnología reduce costos de estación. Ya que la estación móvil rápidamente conmuta entre transmisión y recepción dando la impresión de un radio Full - Duplex. El TDMA utiliza GPS(Global Satellite Position) para tomar una referencia de tiempo sincronizado, para dividir el canal en time slots. Como resultado la capacidad es incrementada por que ahora un canal se convierte en transmisor múltiple de voz y datos. La tecnología TDMA es utilizada en sistemas de Europa, Estados Unidos y Japón.

iDEN utiliza TDMA para elevar la eficiencia del espectro.

Al combinar TDMA y VSELP da como resultado 6 canales de voz en un ancho de banda de 25 [kHz] ya que el VSELP además de codificar digitalmente y comprimir la señal de voz provee al sistema iDEN con la capacidad de ajustar la transmisión de voz dentro del pequeño transmisor resultado de TDMA⁹.

⁹ http://iDEN/addl_info/faq/accessory_faq.html
http://www.mot.com/LMPS/iDEN/addl_info/overview
<http://www.mot.com/Investor/cpc/iDEN.htm>
<http://www.mot.com/SPS/WIRELESS/information/iDENoverview.html>
Diario Oficial

2. ANALISIS DE MEDIOS DE TRANSMISION Y CAPACIDADES

La comunicación se define como la transmisión de información de un lugar a otro. Esta transmisión se hace entre un emisor y un receptor. La información se presenta bajo la forma de diversas señales que tienen un significado preciso para el emisor y el receptor. Si la comunicación se hace directamente entre dos personas, dichas señales pueden ser sonidos o imágenes, o bien, pueden ser señales eléctricas si la comunicación se realiza entre dos aparatos electrónicos.

Las telecomunicaciones se definen como comunicaciones a distancia. Por tanto, se excluyen las comunicaciones directas entre dos personas por medio de la voz o de la vista, las cuales sólo son posibles a corta distancia. Así pues, las señales que se van a transmitir serán señales eléctricas.

Un sistema de telecomunicaciones se compone de tres elementos principales¹⁰ :

- El emisor
- La vía o canal de comunicación
- El receptor



Figura 2.1 Sistema de telecomunicación

Los sistemas de telecomunicación deben responder a exigencias particulares como:

- Tener una capacidad máxima de transferencia de información
- Ser de fácil utilización
- Ser fiable
- Tener el menor costo posible

De la figura 2.1 la vía o canal de transmisión tiene la función de transportar la información entre el emisor y el receptor. Esta vía de comunicación puede consistir en:

¹⁰ Jean Pierre, Néuro Introducción a las comunicaciones

Cables eléctricos
 Cables coaxiales
 Fibras ópticas
 Ondas electromagnéticas

2.1 CABLES ELECTRICOS

El cable eléctrico se puede utilizar para transportar información en forma de señal eléctrica con frecuencias inferiores 300 [MHz]¹¹. El cable está constituido por varios pares de hilos, cada uno de los cuales posee dos conductores retorcidos de cobre o aluminio recubiertos de polietileno.

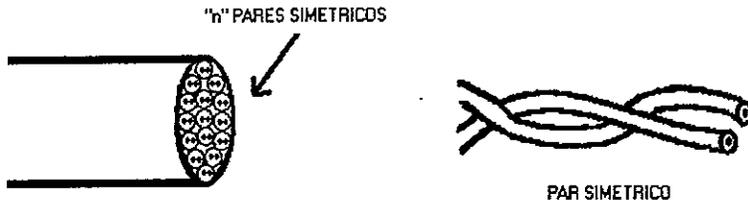


Figura 2.2 Cable eléctrico

La atenuación de la señal varía en función de la raíz cuadrada de la frecuencia.¹² Esto significa que la atenuación se multiplica por dos si la frecuencia se multiplica por cuatro. En el caso de un par de audio, esta atenuación es de 3, después de 1 [km] para una señal eléctrica 100 [kHz].

$$\text{Atenuación} = (\text{frecuencia})^{1/2} \quad 2.1$$

Por ejemplo: La atenuación en un par de audio de 1 [km] a 250 [kHz] es como sigue:

A 250 [kHz], la frecuencia es 2.5 veces más grande que a 100 [kHz]. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} (2.5)^{1/2} &= 1.58 \\ 1.58 \times 3 &= 4.74 \end{aligned}$$

¹¹ Jean Pierre, Néuron Introducción a las Telecomunicaciones

¹² Jean Pierre, Néuron Introducción a las Telecomunicaciones

Si la señal es de 1 [V] a 250 [kHz] al comienzo, para 1 [km] más será $1/4.74 = 2.11$ [mV]

Esta atenuación es importante, ya que limita la frecuencia máxima a 250 [kHz] aproximadamente y, por tanto, reduce la cantidad de información que se puede transmitir. El cable presenta un inconveniente, es notable su sensibilidad a las variaciones de temperatura y al hecho de que una señal eléctrica que circula en un par, induce una señal parásita en el par vecino (diafonía).¹³

La transmisión de señales eléctricas por cables con pares metálicos representa la aplicación más antigua en la transmisión de señales analógicas (telefónicas) y digitales (telegráficas), y a la vez el sistema más simple de enlazar dispositivos de comunicaciones. En el futuro la transmisión de datos y comunicaciones por cable con fibras ópticas ocupará paulatinamente un lugar más destacado, desplazando posteriormente a los pares metálicos en todos los niveles de la red. Sin embargo, puesto que la vida media de los cables con pares metálicos es muy elevada (con un orden de magnitud de varias veces lo que duran en uso los equipos), habrá que pensar en un período de transición prolongado.

Dentro de los tipos de cables para la transmisión de datos pueden distinguirse los siguientes:

- Pares aéreos de hilo desnudo
- Cables de pares para transmisión por dos hilos
- Cables de pares para transmisión por cuatro hilos
- Cables de pares para transmisión híbrida
- Cables coaxiales
- Fibras ópticas

Pares Aéreos de Hilo Desnudo:

Habitualmente estamos acostumbrados a ver los pares aéreos de hilo desnudo suspendidos en postes de madera protegidos con aisladores cerámicos o de vidrio. Son generalmente de cobre o aluminio recubierto de cobre por donde transita la información a partir de frecuencias mayores de 1000 ciclos por segundo (hertz). La separación entre hilos es del orden de 20 a 30 centímetros¹⁴.

Debido a esta separación de los hilos, las pérdidas que se producen son pequeñas y como consecuencia, las transmisiones pueden efectuarse a distancias grandes sin necesidad de utilizar amplificadores-repetidores intermedios. No obstante, cuanto más alta es la frecuencia de transmisión, más alta es la atenuación en el medio y se hace necesaria la instalación de este tipo de repetidores.

¹³ Enrique Herrera P. Fundamentos de Ingeniería Telefónica

¹⁴ ENRIQUE HERRERA PEREZ, FUNDAMENTOS DE INGENIERIA TELEFONICA

En este medio se presentan algunos inconvenientes, siendo el más importante de ellos el de la llamada DIAFONIA, que es la interferencia producida entre hilos próximos de la línea al traslaparse, por efecto de radiación, las informaciones que circulan por ellos.

En un inicio, este fue el medio empleado para la transmisión de señales digitales, ya que se aprovechaban así los pares de cobre ya existentes. Para una transmisión adecuada se empleaban regeneradores de línea a distancias de aproximadamente 1800 metros, estos regeneradores se alimentaban desde un equipo de línea.

En México, esta modalidad de transmisión se utilizó mucho para unir centrales locales analógicas con los centros automáticos de larga distancia, y en general con las centrales digitales.

Con la aparición de la fibra óptica, se desplazó a este medio de transmisión para la interconexión de centrales. Sin embargo, una aplicación emergente está en la prestación de servicios digitales a abonados empresariales y residenciales. Para éstos, en ocasiones (por lo general debajo de 6 [Mbps]) tiene una mejor razón de costo beneficio la transmisión a través de cobre.

Cables de Pares para Transmisión por Dos Hilos:

Para resolver algunos de los problemas que presentan los pares aéreos (dificultades en el tendido, poca cantidad de canales soportados, etc.) se han utilizado estos cables donde los conductores están aislados y muy próximos, tanto que un mismo cable puede contener un número elevado de ellos. Sin embargo, el problema de la diafonía persiste y hay que recurrir a procedimientos especiales para reducirla al mínimo. Debido a que el diámetro de estos pares es muy pequeño y que, además, se encuentran trenzados para disminuir las interferencias electromagnéticas, la atenuación y resistencia que ofrecen las líneas de transmisión con este tipo de cables es mayor que en los anteriores, por lo que se hace necesario instalar repetidores-amplificadores a intervalos más cortos que cuando se utilizan tendidos de hilos desnudos.

La instalación de este tipo de cables suele realizarse habitualmente en zanjas o canalizaciones subterráneas.

Estos cables pueden llevar más de un canal de voz mediante técnicas de multiplexaje, siendo habitual llegar hasta 24 canales con frecuencias de hasta 300 [kHz] (kilohertz).

La conversación telefónica requiere inherentemente la transmisión en ambos sentidos, de tal manera que cuando se transportan las dos direcciones sobre el mismo par de hilos se dice que la transmisión es por dos hilos. La definición más apropiada para los fines de transmisión y conmutación es denominarla operación a dos hilos cuando por el mismo medio de transmisión eléctrico o trayectoria se manejan las señales de una sola conversación en ambos sentidos

Cables de Pares para Transmisión por Cuatro Hilos:

Las características de este medio de comunicación son las mismas que para el caso de dos hilos, con la diferencia de que generalmente los sistemas de portadora de radio requieren que las señales de una conversación individual con sentido opuesto estén sobre canales de transmisión o trayectorias separadas (o en períodos mutuamente exclusivos). Por lo tanto, se tienen dos hilos para la trayectoria de transmisión y dos para la recepción, es decir, un total de cuatro hilos para la conversación telefónica dúplex-completa (bidireccional).

Cables de Pares para Transmisión Híbrida:

En términos telefónicos (frecuencia vocal), la transmisión híbrida es un transformador. Para simplificar la descripción, la transmisión híbrida se puede considerar como un divisor de potencia con cuatro conectores, cada uno para un par de hilos. Dos de los cuatro conectores corresponden a la trayectoria de cuatro hilos, la cual consta del par de transmisión y del par de recepción; el tercer par es la conexión al enlace de dos hilos que al final se conecta con el aparato del abonado. El último de los cuatro pares de hilos conecta la transmisión híbrida con una red de balance resistiva-capacitiva, la cual equilibra eléctricamente la transmisión híbrida con la conexión a dos hilos hacia el aparato de abonado, sobre la totalidad del rango de frecuencias de la red de balance; para este objeto también se puede utilizar una línea artificial.

La energía de la señal que entra por la conexión a dos hilos del aparato se divide equitativamente. Una mitad se disipa en la impedancia de la trayectoria de recepción en el lado de cuatro hilos y la otra mitad va a la trayectoria de transmisión del lado de cuatro hilos.

En la descripción de la transmisión híbrida se notará en todo caso que, idealmente, la mitad de la energía de la señal que entra a la transmisión híbrida se aprovecha y la otra mitad se disipa o desperdicia. Como regla general se dice que la pérdida de inserción de una transmisión híbrida es de 0.5 [dB].

2.2 CABLE COAXIAL

El cable coaxial está constituido por dos conductores concéntricos que se encuentran separados por un espacio lleno de un aislante eléctrico. El conductor interno es un hilo metálico y el conductor externo es un cilindro metálico. El cilindro externo limita la diafonía y las perturbaciones electromagnéticas externas.

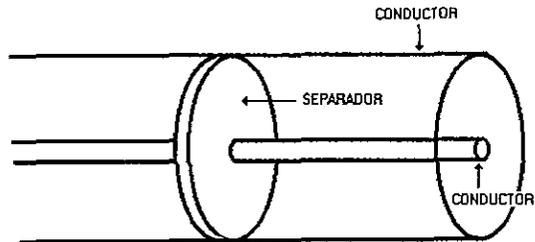


Figura 2.3 Cable coaxial

Este cable presenta una atenuación más baja que el par de hilos, ya que la atenuación siempre varía en función de la raíz cuadrada de la frecuencia. Ésta es del orden de 1.3 para 1 [km] de cable a 1 [MHz]. Los cables coaxiales se utilizan rara vez a más de 100 [MHz]. Se observa que el cable de dos hilos como el coaxial, a una distancia larga implica una baja frecuencia, o a una alta frecuencia corresponde una corta distancia. Esto es un gran inconveniente cuando se intenta obtener un sistema de telecomunicaciones de alta eficiencia.

2.3 FIBRA OPTICA

Estructura:

La fibra óptica está compuesta por dos tubos de cristal concéntricos uno dentro del otro. El material del centro se llama núcleo y tiene un índice de refracción mayor. El material exterior se llama recubrimiento y tiene el índice de refracción menor.¹⁵

Ambos elementos están hechos por el mismo material de silicio normalmente. La diferencia estriba en que el núcleo se dopa con materiales especiales a fin de tener diferentes índices de refracción.

¹⁵ Ignacio Cepeda B. Sistemas de comunicación por medio de fibras ópticas

Descripción general

En su forma más simple, un sistema de comunicación por fibra óptica está constituido por tres elementos (ver figura 2.4).

- Módulo de emisión, que tiene por función transformar la información en forma de luz. A este módulo se le llama emisor óptico.
- Canal de transmisión de la luz, que es la fibra óptica.
- Módulo de recepción, que tiene como función transformar la información óptica recibida en información de señal eléctrica; se le llama receptor óptico.

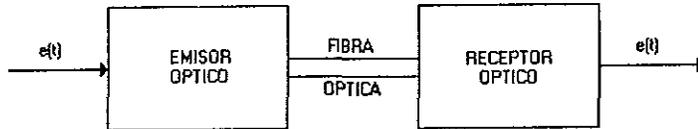


Figura 2.4 Sistema de comunicación por fibra óptica

Un cable de fibra óptica tiene un diámetro similar al de un cabello humano y la capacidad equivalente a 30,000 pares de hilos de cobre que en conjunto pesarían muchas veces más y ocuparían un espacio mucho mayor.

Asimismo, los cables de fibra óptica no generan interferencias que pudieran afectar a sus cables vecinos, es decir la diafonía no existe, dado que la fibra óptica está hecha de un material no conductor como el vidrio.

Otra característica importante es que a diferencia de los cables de cobre y coaxiales, la fibra óptica tiene una baja atenuación en un ancho de banda muy amplio, lo que hace que la necesidad de procedimientos de equalización sea nula.

La fibra óptica también presenta algunos inconvenientes como son: precios altos, algunos componentes involucrados en los sistemas ópticos son bastante caros. Por ejemplo los conectores ópticos son hasta cien veces más caros que los empleados en los cables coaxiales.

El derecho de vía en las fibras ópticas requiere un tendido entre dos puntos, estos cables deben cruzar por tierras y terrenos de propiedad privada, de forma que es necesario tramitar derechos de vía. Una opción es canalizar la fibra a un lado de las carreteras que unen a las poblaciones para aprovechar la infraestructura ya existente.

La fibra óptica no transporta energía como ya mencionamos, está fabricada por elementos no conductores y no se puede enviar alimentación por los mismos hilos empleados para la transmisión de información. Otro inconveniente de la fibra óptica es que no ofrece movilidad.

2.4 MICROONDAS

En los últimos diez años, ha habido avances considerables en el campo de la ingeniería de microondas. Existen nuevos dispositivos para generar microondas, entre ellos los dispositivos de estado sólido. Además, las microondas están en aplicaciones interesantes en varias áreas fuera de las comunicaciones, como en el control y mediciones industriales, así como en la calefacción dieléctrica en frecuencia de microondas. Por lo que es necesaria la comprensión básica de los aspectos de ingeniería en microondas.

Microondas es un término descriptivo que se utiliza para identificar ondas electromagnéticas en el espectro de frecuencias comprendido entre 1 [GHz]¹⁶ y 30 [GHz], que corresponden a las longitudes de onda de 30 a 1 [cm]. Algunas veces también a frecuencias más elevadas (hasta 600 [GHz]) se les llama microondas. Estas ondas presentan algunas características interesantes que no ocurren en otros sectores del espectro electromagnético y que las hacen particularmente adecuadas para diversas aplicaciones útiles.

Gama de Frecuencias	Gama de longitud de onda en el vacío	Subdivisión Métrica	Abreviatura métrica de la banda de frecuencias	Símbolo en Inglés
3-30 kHz	10-100 km	Ondas milimétricas	B. Mm	Vlf
30-300 kHz	1-10 km	Ondas kilométricas	B. km	Lf
300-3000 kHz	1-10 hm	Ondas hectométricas	B. hm	Mf
3-30 MHz	1-10 dam	Ondas decamétricas	B. dam	Hf
30-300 MHz	1-10 m	Ondas métricas	B. m	Vhf
300-3000 MHz	1-10 dm	Ondas decimétricas	B. dm	Uhf
3-30 GHz	1-10 cm	Ondas centimétricas	B. cm	SHf
30-300 GHz	1-10 mm	Ondas milimétricas	B. mm	SHf
30-3000 GHz	0.01-1 mm	Ondas decimilimétricas		

Tabla 2.1 Designación de las Bandas de Radiofrecuencia

En general, las microondas son las bandas de frecuencia superiores a un [GHz]. La longitud de onda disminuye con el aumento de frecuencia, lo que tiene ventajas, aunque también inconvenientes.

Las antenas pueden ser de menor dimensión. Además, la emisión puede ser directa, lo que permite concentrar energía en una dirección mejor definida, y de esta forma aumentar el alcance de la transmisión y evitar la interferencia con otros canales de transmisión.

¹⁶ Gupta, Microondas pag 13

Si la frecuencia es muy elevada, la cantidad de información transmitida puede llegar a ser muy grande. Sin embargo, si la longitud de onda λ fuera pequeña, la interacción con objetos que tienen dimensiones del orden de λ (difracción y difusión)¹⁷ sería muy grande, por eso las gotas de lluvia tienen un efecto negativo en la propagación de las microondas (Figura 2.5).

Por otra parte, con estas frecuencias altas, el oxígeno y las moléculas de agua contenidas en el aire absorben las ondas electromagnéticas, lo que limita el alcance de la transmisión.

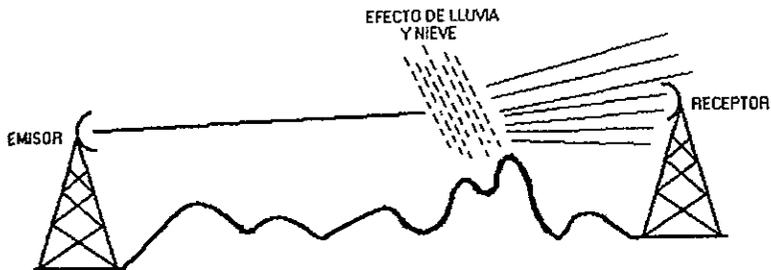


Figura 2.5 Efecto de lluvia y nieve en la transmisión por microondas

Las ventajas de un sistema de transmisión por microondas son (Tabla 2.2): su bajo costo de transmisión, existe en todas partes, no pueden ser destruidas, el ensamble de los equipos es fácil y flexible, no requiere derecho de vía, pueden operar con sistemas analógicos y digitales, debido a su bajo costo pueden existir equipos paralelos que se conectan en caso de falla del equipo en operación normal (Figura 2.6), las señales pueden ser transmitidas en diferentes frecuencias, las señales pueden ser recibidas por diferentes antenas a diferentes distancias una de la otra, las señales son transmitidas por diferentes rutas.

¹⁷ Freeman Sistemas de transmisión de microondas en línea recta

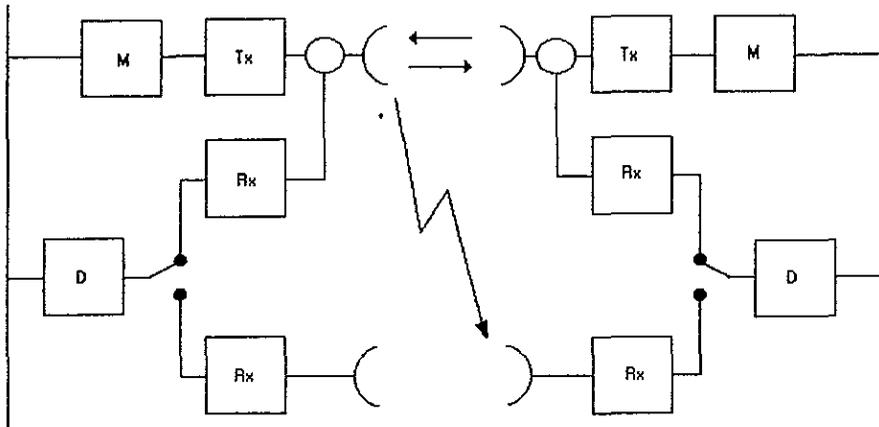


Figura 2.6 Bloques del sistema de transmisión por microondas

Medios de transmisión	Material	Op. Análogo/dig.	Derecho de vía	Diafonía	Atenuación	Frecuencia de op.	Costo
Cables Eléctricos	Cobre/Aluminio	Si	Si	Si	Muy Grande	Menor a 300 MHz	Alto
Cable Coaxial	Cobre/Aluminio	Si	Si	No	Grande	Menor a 600 MHz	Alto
Fibra Óptica	Cristal	Si	Si	No	Baja	3×10^{14} Hz	Muy Alto
Micro-Ondas	Señal Elec-Tromagnética	Si	No	No	Baja	De 1 a 30 GHz	Bajo

Tabla 2.2 Resumen comparativo entre los medios de transmisión

3. PLANTEAMIENTO DE LAS NECESIDADES DE LA RED

Como se mencionó en los capítulos anteriores, una posibilidad para establecer la comunicación entre varios usuarios fué, en un inicio, un enlace entre cada uno de ellos. Pero al aumentar el número de abonados, la cantidad de circuitos se incrementaba demasiado y, por ende dejaba de ser funcional.

El siguiente paso fue el de desarrollar circuitos capaces de establecer enlaces físicos, por cierto periodo de tiempo, es decir durante el tiempo de la comunicación entre abonados y, a estos enlaces se les denominaron elementos de conmutación.

Actualmente se cuenta con muchos desarrollos y se vislumbran tecnologías avanzadas que regirán el mundo de las telecomunicaciones en el futuro, pero al parecer la técnica PCM estará presente siempre que se quiera convertir una señal analógica a una señal digital. Una red basada en la transmisión de señales digitales es extremadamente flexible, una vez que una señal de telefonía o una señal de vídeo se ha convertido al formato digital, son totalmente compatibles entre si y/o con otras señales. Así, con la digitalización de las señales de radio, televisión, datos y telefonía, éstas pueden transmitirse juntas, integradas en una misma señal.

Hoy día, los retos tecnológicos parecen ser superados en una forma muy sencilla, pero existe otro reto que para las empresas de telecomunicaciones parece no ser tan sencillo y es el de cubrir la mayor parte o la totalidad del territorio nacional, este objetivo sería muy fácil probablemente si se empezara de cero, pero sería muy costoso, además las empresas de telecomunicaciones se deben apegar a las normas y leyes estipuladas por la Secretaría de Telecomunicaciones y Transportes mediante la Comisión Federal de Telecomunicaciones en México.

Estas instituciones gubernamentales han dividido el territorio nacional (para fines de telecomunicaciones), en diferentes regiones, esto con la finalidad de poder analizar la expansión de los sistemas de telecomunicaciones y no caer en un crecimiento desorganizado que a largo plazo provocaría pérdidas millonarias y falta de servicio a los usuarios. Asimismo las empresas de telecomunicaciones pueden diseñar sus programas de expansión realizando su análisis correspondiente para llegar a un equilibrio entre los factores costo beneficio.

3.1 REGIONES PARA LA COMUNICACION INALAMBRICA EN EL TERRITORIO NACIONAL

El Territorio Nacional está dividido en nueve grandes regiones para la comunicación inalámbrica, las cuales se mencionan a continuación especificando su posición geográfica y las ciudades más importantes incluidas en esta:

Región 1.

Ubicada en la península de Baja California teniendo como ciudades importantes: Tijuana, Mexicali, Rosarito, Ensenada y La Paz.

Región 2.

Ubicada en el pacífico norte teniendo como ciudades importantes: Nogales, Cd. Obregón, Hermosillo, Mazatlán, Los Mochis y Culiacán

Región 3.

Ubicada en el norte central teniendo como ciudades importantes: Cd. Juárez, Chihuahua, Torreón y Durango.

Región 4.

Ubicada en el noreste teniendo como ciudades importantes: Monterrey, Nuevo Laredo, Reynosa, Saltillo y Matamoros.

Región 5.

Ubicada en el occidente teniendo como ciudades importantes: Guadalajara, Morelia, Zamora y Tepic.

Región 6.

Ubicada en el Bajío y centro oriente teniendo como ciudades importantes: San Luis Potosí, Aguascalientes, León y Querétaro.

Región 7.

Ubicada en el sur y sureste teniendo como ciudades importantes: Veracruz, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca y Guerrero.

Región 8.

Ubicada en la península de Yucatán teniendo como ciudades importantes: Cancún, Mérida, Cozumel y Progreso.

Y por último la Región 9.

Ubicada en el centro del país teniendo como ciudades importantes: Cd. de México, Toluca y Cuernavaca.

Las nueve regiones para la comunicación inalámbrica en México, se diseñaron de tal forma que se pudiera cumplir con la finalidad de simplificar la estructura y aumentar la eficiencia de la red, permitiendo de esta manera realizar el análisis de crecimiento y no caer a futuro en un error que se refleje en pérdidas millonarias y falta de servicios.¹⁸

A continuación se presenta un resumen de las regiones con sus ciudades más importantes (tabla 3.1), asimismo en la figura 3.1. se muestra el territorio nacional dividido en las nueve regiones para la comunicación inalámbrica.

Ciudades importantes	
1	Tijuana, Mexicali, Rosarito, Ensenada y la Paz
2	Nogales, Cd. Obregón, Hermosillo, Mazatlán, Los Mochis, Culiacán
3	Cd. Juárez, Chihuahua, Torreón, Durango
4	Monterrey, Nuevo Laredo, Reynosa, Saltillo, Matamoros
5	Guadalajara, Morelia, Zamora, Tepic
6	San Luis Potosí, Aguascalientes, León, Querétaro
7	Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Tlaxcala
8	Cancún, Mérida, Cozumel, Progreso
9	Cd. de México, Toluca, Cuernavaca

Tabla 3.1 División de México en 9 regiones

¹⁸ Cofetel Regiones Geográficas de la Subasta para la Provisión de Enlaces de Microondas Punto A Punto (PAP) y Punto A Multipunto (PAM).
Revista Wireless Comunicaciones Sep/Oct 1998, página 24



Figura 3.1.- Regiones en que se divide el territorio mexicano para la comunicación inalámbrica

3.2 ESTADO ACTUAL DE LA RED

La red con que se cuenta actualmente, únicamente presenta enlaces de microondas en los diversos puntos de cobertura. Para un mejor entendimiento del estado actual de la red esta se describirá en dos partes, siendo la primera a nivel nacional ("Back Bone") y la segunda a nivel local.

3.2.1 RED DE MICROONDAS A NIVEL NACIONAL

La red de microondas a nivel nacional, cuenta con enlaces regionales, que serán descritos en forma generalizada a continuación, dejando los datos técnicos y geográficos de cada uno para el final, presentando estos en forma tabular (tablas 3.2 a y 3.2 b), siendo estos:

México - Querétaro: este enlace inicia en el área metropolitana en la Sierra de Guadalupe en el sitio Pico Tres Padres enlazado con Jocotitlán en el Estado de México, posteriormente a El Rosal y terminando en el Cerro del Cimatarío en la ciudad de Querétaro, de donde se puede apreciar que la finalidad del mismo es cubrir poblados

importantes y ubicados sobre los límites de la autopista México - Querétaro, con el objeto de tener la mayor cobertura posible de red federal de carreteras que es un criterio generalizado de las empresas de telecomunicaciones. Este enlace se encuentra en la banda de 2 [GHz] con un ancho de banda de 7 [MHz]; cabe mencionar que en la actualidad la banda de 2 [GHz] esta designada al Servicio de Comunicación Personal (PCS-Personal Communication Service) y que por tal motivo se deberá desalojar esta banda y proponer una nueva.

La ciudad de Querétaro al igual que la ciudad de México son puntos estratégicos de los cuales se derivan diferentes vías de comunicación, entre ellas las de telecomunicaciones, por ejemplo, de Querétaro existen enlaces a ciudades como Celaya y San Luis Potosí.

Querétaro - Guadalajara: este enlace se inicia en el sitio Cerro del Cimatario con saltos en los siguientes sitios, Cerro Culiacán, Huanimaro, la Piedad, Mesa del Pino, Santa Fé y terminando en Guadalajara. Este enlace de la red cuenta únicamente con la concesión por parte de las autoridades de la Secretaría de Telecomunicaciones, con banda concesionada de 7 [GHz] y ancho de banda de 28 [MHz].

Querétaro - Monterrey: este enlace se inicia en el sitio Cerro del Cimatario con saltos en los siguientes sitios, Cerro Culiacán, Palo Huérfano, Miraflores, Los Caballos, Nuñez, Huizache, Pastoriza, Cruz de Lorza, La Presa, El Potosí, Papagayos y terminando en Monterrey. El enlace cuenta con la instalación completa en la banda de 2 [GHz] y ancho de banda de 28 [MHz]. Es importante hacer notar que la ciudad de Monterrey es un punto estratégico de la red pues desde él se conecta a la ciudad de Saltillo y a futuro podría ser enlazado a Nuevo Laredo en la frontera.

Monterrey - Saltillo: este enlace se inicia en el sitio Villa de García con salto en el sitio Mariposas y terminando en Cerro de Vega. Se cuenta con instalaciones completas en la banda de 2 [GHz] y ancho de banda de 28 [MHz].

México - Puebla: este enlace se inicia en Pico Tres Padres con salto en el sitio Alzomoni (Paso de Cortés) y terminando en Puebla. Se cuenta con instalaciones completas en la banda de 2 [GHz] y ancho de banda de 7 [MHz]. Es importante hacer notar que la ciudad de Puebla es otro punto estratégico de la red pues desde ella se conecta a la ciudad de Veracruz.

Puebla - Veracruz: este enlace inicia en Puebla con saltos en El Pinal, Oriental, Perote, Cerro Gordo y terminando en Veracruz. Este enlace de la red cuenta únicamente con la concesión por parte de las autoridades de la Secretaría de Telecomunicaciones, con banda concesionada de 7 [GHz] y ancho de banda de 28 [MHz].

En la figura 3.2. se puede observar una representación esquemática de la red descrita anteriormente ("Back Bone"), y en la figura 3.3 se muestra la ubicación de la misma en el territorio nacional.

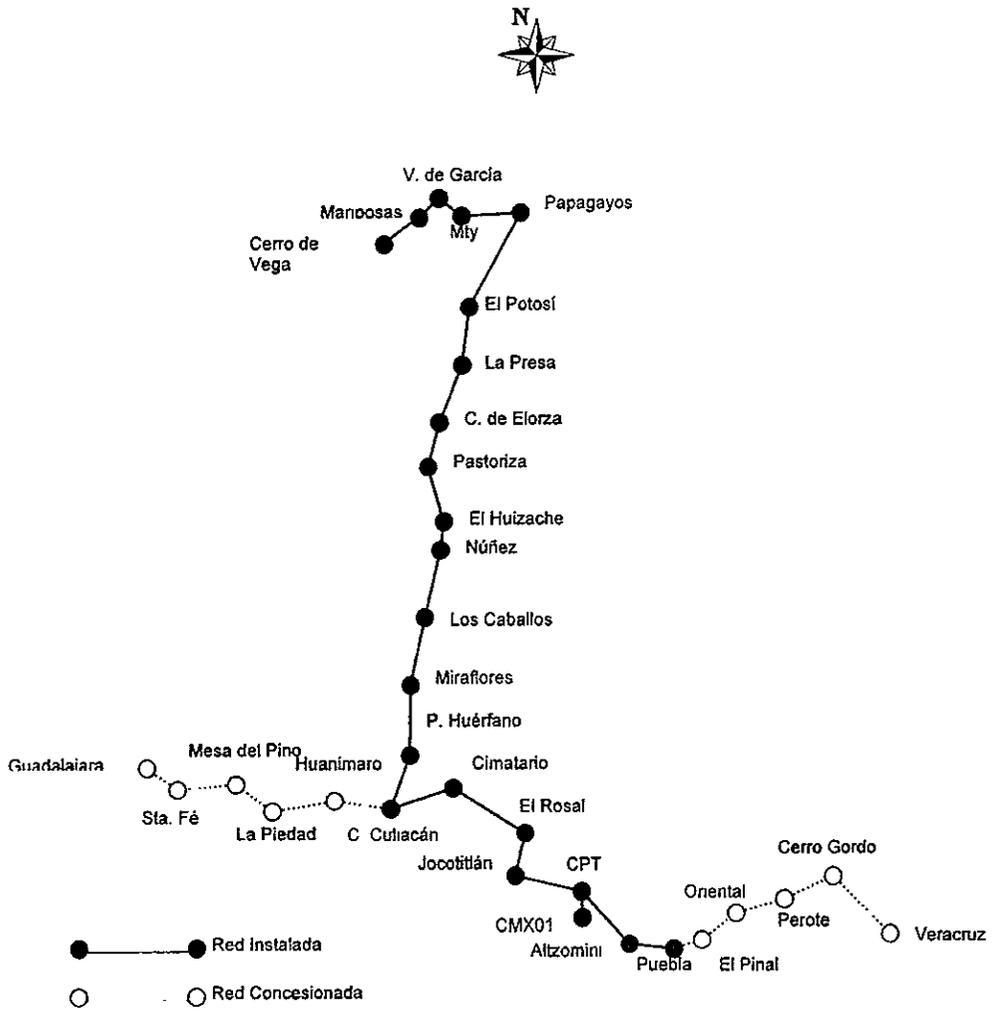


Figura 3.2. Estado actual de la red "Back Bone" indicando red instalada y en proyecto

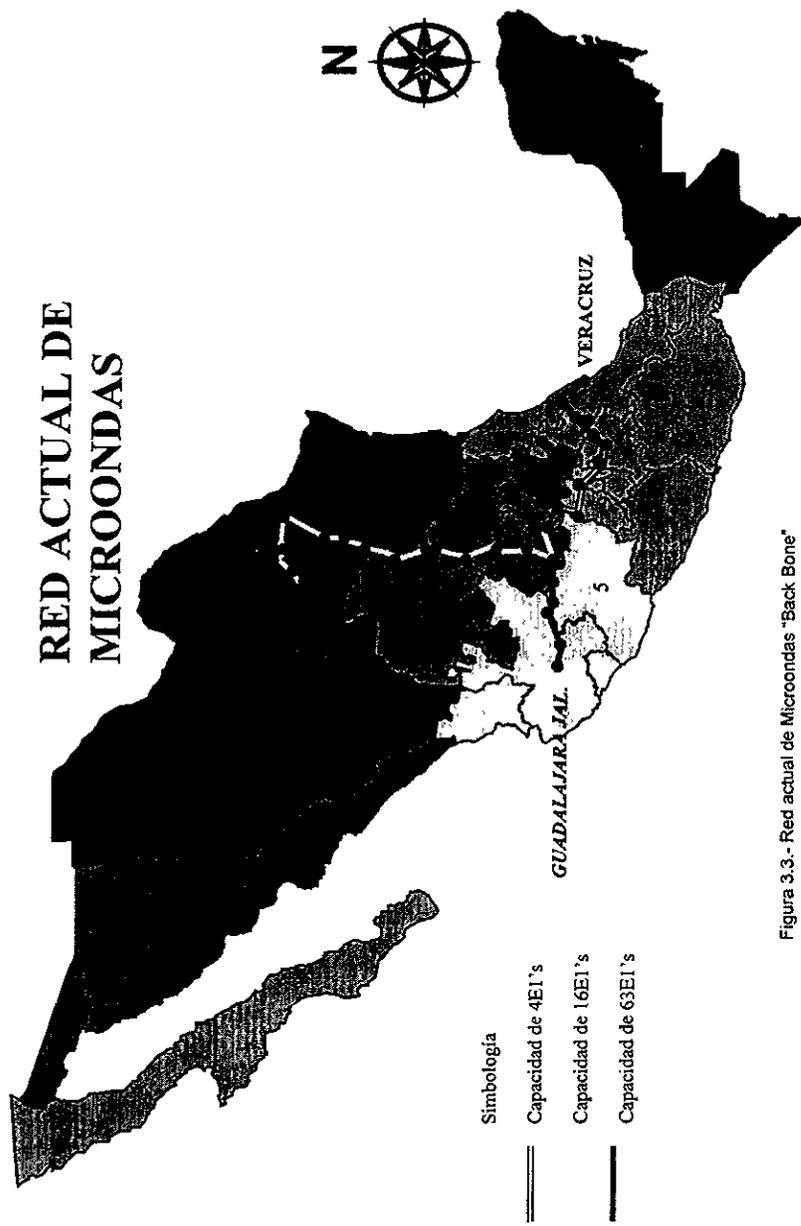


Figura 3.3.- Red actual de Microondas "Back Bone"

Nombre	Localidad	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNM m	Tipo de Torre	Alt m
		°	'	''	°	'	''			
OMA017	DF.	19	21	31	99	6	28	2214	Autosportada	40
Puebla	Puebla	19	4	17	98	13	32	2165	Autosportada	40
Atzacomi	Edb.Méx	19	7	11	98	39	13	4000	Autosportada	43
OPTP	Edb.Méx	19	35	22	99	6	55	2800	Autosportada	70
Jocotlán	Edb.Méx	19	44	8	99	45	32	3800	Autosportada	33
El Rosal	Edb.Méx	20	6	51	99	39	51	2802	Arcostrada	53
Qimataro	Queretaro	20	31	44	100	21	38	2297	Autosportada	70
El Pinal	Puebla	19	9	0	97	57	17	2619	No instalada	
Oriental	Puebla	19	22	46	97	37	13	2385	No instalada	
Perote	Veracruz	19	30	3	97	9	5	3941	No instalada	
C.Gordo	Veracruz	19	41	37	95	40	38	1220	No instalada	
Veracruz	Veracruz	19	10	18	95	8	13	5	No instalada	
Guadalupe	Jalisco	20	40	53	103	20	27	1539	No instalada	
Santa Fé	Jalisco	20	29	20	103	2	20	2289	No instalada	
Modelo Fino	Jalisco	20	32	46	102	28	20	1918	No instalada	
La Florida	Michoacan	20	18	14	102	6	55	2450	No instalada	
Huamantla	Guerrero	20	24	23	101	31	0	2210	No instalada	
C.Oliacán	Guerrero	20	20	12	100	58	10	2798	Autosportada	50
P.Huamantla	Guerrero	20	49	31	100	46	59	2135	Arcostrada	33
Miraflores	Guerrero	21	27	31	100	47	6	2081	Arcostrada	33
Los Caballos	SLP.	22	4	5	100	38	50	2637	Arcostrada	30
Núñez	SLP.	22	40	22	100	30	4	1528	Autosportada	40
El Húizache	SLP.	22	55	42	100	28	13	1423	Autosportada	40
Pastoriza	SLP.	23	25	26	100	37	54	1579	Autosportada	30
Cde Eloza	NL	23	49	41	100	31	19	1912	Autosportada	40
La Presa	NL	24	20	57	100	18	3	2176	Autosportada	33
El Potosí	NL	24	52	22	100	14	0	3700	Autosportada	30
Papagayos	NL	25	43	9	99	43	15	469	Autosportada	35
Monterrey	NL	25	41	16	100	19	2	557	Autosportada	60
Vde García	NL	25	50	45	100	32	58	994	Autosportada	63
Miripositas	NL	25	40	3	100	44	42	1600	Autosportada	63
Cde Vega	Coah.	25	25	35	101	5	46	2053	Autosportada	33

Tabla 3.2 a Datos técnicos y geográficos de los sitios de la Red Nacional actual

Enlace		Distancia Km	Azmut °	Antena Principal		Antena Secundaria		Fadorno	L T P m	L T S m	Cap E/s	Potencia dBm	Disponibilid %
				Diámetro (m)	Altura (m)	Diámetro (m)	Altura (m)						
Puebla	Alzomoni	58	286	3	20	0	0	0	30	0	4	28	99.99929%
Alzomoni	Puebla		85.81	2.4	15	0	0	0	25	0			
Alzomoni	CFIP	71.08	317.03	3	25	3	15	0	35	25	4	28	99.99911%
CFIP	Alzomoni		138.88	3	25	3	15	0	35	25			
CFIP	Jocotlán	69.25	283.79	3	25	3	15	0	50	40	4	28	99.99947%
Jocotlán	CFIP		103.57	3	30	3	20	0	40	30			
Jocotlán	El Rosal	42.83	192.85	1.8	30	0	0	0	40	0	4	28	99.99942%
El Rosal	Jocotlán		12.81	1.8	20	0	0	0	20	0			
El Rosal	Ormatano	85.74	302.42	3.7	20	3	10	0	30	20	4	28	99.99900%
Ormatano	El Rosal		122.28	3.7	22	3	12	0	32	22			
Ormatano	C Otlacacan	66.9	251.73	3.7	40	3	30	0	50	40	16	28	99.99927%
C Otlacacan	Ormatano		71.51	3.7	30	3	20	0	40	30			
C Otlacacan	P Huastlano	69.9	71.51	3	20	2.4	10	0	30	20	16	28	99.99911%
P Huastlano	C Otlacacan		251.73	3	20	2.4	10	0	30	20			
P Huastlano	Mitlañeros	57.31	118.79	3.7	20	3	10	0	30	20	16	28	99.99917%
Mitlañeros	P Huastlano		19.73	4.5	20	3	10	0	30	20			
Mitlañeros	Los Caballos	70.12	178.83	3.7	20	3	10	0	30	20	16	28	99.99905%
Los Caballos	Mitlañeros		359.84	3.7	20	3	10	0	30	20			
Los Caballos	Núñez	69.97	191.85	3.7	28	3	19	0	38	28	16	28	99.99902%
Núñez	Los Caballos		11.9	3.7	35	3	25	0	45	35			
Núñez	Huizache	28.67	186.05	1.8	20	0	0	0	30	0	16	28	99.99900%
Huizache	Núñez		6.05	1.8	20	0	0	0	30	0			
Huizache	Pastora	57.23	343.46	3.7	20	1.8	10	0	30	20	16	28	99.99933%
Pastora	Huizache		163.34	3.7	20	1.8	10	0	30	20			
Pastora	C Eloxca	45.89	13.7	2.4	20	1.8	10	0	25	15	16	28	99.99922%
C Eloxca	Pastora		193074	3	20	1.8	10	0	25	15			
C Eloxca	La Piesca	62.02	28.35	3.7	20	2.4	10	0	25	15	16	28	99.99917%
La Piesca	C Eloxca		201.49	3.7	20	2.4	10	0	25	15			
La Piesca	El Polcoi	58.28	8.78	3	25	3	15	0	35	25	16	28	99.99975%
El Polcoi	La Piesca		188.81	3	25	3	15	0	35	25			
El Polcoi	Papagayos	107.55	29.08	4.5	20	3.7	10	SI	25	15	16	35	99.99987%
Papagayos	El Polcoi		238.28	4.5	20	3.7	10	SI	25	15			
Papagayos	Montehey	55.76	85.16	3	20	2.4	10		30	20	16	28	99.99959%
Montehey	Papagayos		285.4	3	30	2.4	20		40	30			
Montehey	V de García	34	303.33	3	30				40		16	28	99.99902%
V de García	Montehey		123.21	3	20				30				
V de García	Mispozas	28.47	224.82	1.8	60	1.8	50		70	60	16	28	99.99906%
Mispozas	V de García		44.53	1.8	60	1.8	50		70	60			
Mispozas	C de Vega	43.62	233.33	2.4	20	1.8	10		30	20	16	28	99.99909%
C de Vega	Mispozas		53.18	2.4	20	1.8	10		30	20			

LTP Línea de Transmisión Principal
LTS Línea de Transmisión Secundaria

Tabla 3.2 b Datos técnicos y geográficos de los enlaces de la Red Nacional actual

Como se observa en la figura 3.2, la red nacional actual presenta una configuración en estrella, la cual no ofrece ruta alterna de respaldo en caso de falla lo que podría ocasionar la falta del servicio y comunicación entre las ciudades enlazadas, además se deberá tomar en consideración la utilización futura de PCS's que trabajarán en la banda de 2 [GHz] lo que obligará a desalojar esta banda y ocupar otra banda destinada al servicio de microondas punto a punto.

3.2.2 RED DE MICROONDAS PARA EL SERVICIO LOCAL



Figura 3.4. Red actual de microondas para el servicio local

Como se observa en la figura 3.4. la red local actual presenta una configuración en estrella, que no cuenta con rutas alternas de respaldo lo que podría ocasionar una serie de problemas reflejados en la falta del servicio y comunicación, siendo un ejemplo el que una zona importante de la ciudad dependa del buen funcionamiento de un sitio con similitud a un circuito en serie. A continuación se presentan en forma tabular las características geográficas y técnicas de cada uno de los sitios mencionados (tabla 3.3. y 3.4.)

NOMBRE	LATITUD NORTE			LONGITUD OESTE			ASNM (m)	Torre (m)				Construcción (m)
	°	'	''	°	'	''		Au.	Ar.	Mo.	Ma.	
CMX 1	19	16	56	99	8	33	2264	42				0
CMX 2	19	18	10	99	11	14	2363		27			3
CMX 3	19	20	2	99	12	32	2311	30				0
CMX 4	19	19	58	99	9	52	2250			24		7
CMX 5	19	19	38	99	7	25	2222		27			8
CMX 6	19	19	52	99	4	3	2226		24			4
CMX 7	19	17	13	99	3	42	2224	30				0
CMX 8	19	20	34	99	11	4	2276				6	30
CMX 9	19	21	4	99	9	13	2229	30				0
CMX 10	19	21	23	99	18	12	2764	36				0
CMX 11	19	21	26	99	17	18	2707	30				0
CMX 12	19	21	48	99	16	26	2600			30		0
CMX 13	19	21	39	99	12	4	2307		21			15
CMX 14	19	21	40	99	10	37	2254				6	15
CMX 15	19	22	23	99	9	29	2229	27				0
CMX 16	19	21	49	99	8	4	2220		18			15
CMX 17	19	21	31	99	6	28	2214	42				0
CMX 18	19	22	3	99	4	52	2216		27			4
CMX 19	19	21	34	99	2	23	2231		18			15
CMX 20	19	22	29	99	15	43	2569		24			15
CMX 21	19	23	2	99	15	0	2511	30				0
CMX 22	19	22	46	99	13	59	2377		30			0
CMX 23	19	23	19	99	13	9	2363			30		0
CMX 24	19	22	47	99	12	20	2296		21			30
CMX 25	19	22	41	99	11	20	2269			30		0
CMX 26	19	23	22	99	11	40	2300		18			10
CMX 27	19	23	16	99	10	45	2250		25			6
CMX 28	19	23	20	99	9	37	2230	30				0
CMX 29	19	23	20	99	8	29	2220		18			12
CMX 30	19	22	57	99	7	3	2215		18			8
CMX 31	19	22	56	99	5	48	2213		21			5
CMX 32	19	23	0	99	3	52	2218		24			11
CMX 33	19	23	47	99	1	37	2223		27			6
CMX 34	19	23	46	99	16	34	2494	36				0
CMX 35	19	23	34	99	15	35	2516	36				0
CMX 36	19	23	39	99	14	7	2432	42				0
CMX 37	19	24	38	99	16	1	2423	36				0
CMX 38	19	24	31	99	14	42	2400	42				0
CMX 39	19	25	12	99	15	20	2400	30				0
CMX 40	19	25	37	99	14	24	2348		24			20

Au. - Autosoportada Ar. - Arriestrada Mo. - Monopolo Ma. - Mastil

Tabla 3.3. Características técnicas y geográficas de la red local actual

NOMBRE	LATITUD NORTE			LONGITUD OESTE			ASNM (m)	Torre (m)				Construcción (m)
	°	'	"	°	'	"		Au.	Ar.	Mo.	Ma.	
CMX 41	19	24	54	99	13	36	2340		18			18
CMX 42	19	24	9	99	13	10	2365			30		0
CMX 43	19	24	59	99	12	37	2300			36		0
CMX 44	19	24	8	99	12	11	2324				6	30
CMX 45	19	24	45	99	11	34	2264			36		0
CMX 46	19	24	6	99	11	5	2249				6	34
CMX 47	19	24	42	99	10	37	2242				6	30
CMX 48	19	24	2	99	10	3	2235				6	30
CMX 49	19	25	5	99	10	6	2235				12	36
CMX 50	19	24	44	99	9	27	2226		18			30
CMX 51	19	24	33	99	8	8	2218		20			25
CMX 52	19	24	13	99	6	36	2213				6	24
CMX 53	19	24	16	99	4	44	2211	30				0
CMX 54	19	25	39	99	13	23	2312	33				0
CMX 55	19	25	51	99	12	33	2285		18			33
CMX 56	19	25	40	99	11	33	2254		15			24
CMX 57	19	25	45	99	10	41	2240				6	39
CMX 58	19	25	50	99	9	42	2228				6	60
CMX 59	19	25	28	99	8	49	2221		20			30
CMX 60	19	26	0	99	8	8	2216		18			13
CMX 61	19	25	37	99	7	7	2214		18			18
CMX 62	19	25	18	99	5	43	2211		18			12
CMX 63	19	25	21	99	3	56	2216	30				0
CMX 64	19	26	23	99	4	47	2210		30			6
CMX 65	19	26	42	99	6	11	2212		18			15
CMX 66	19	26	29	99	13	14	2293	36				0
CMX 67	19	26	46	99	12	24	2269	36				0
CMX 68	19	26	31	99	11	26	2248	36				0
CMX 69	19	26	27	99	10	27	2236	30				0
CMX 70	19	26	40	99	9	38	2226			36		0
CMX 71	19	26	20	99	8	56	2221			36		0
CMX 72	19	26	47	99	8	12	2216				12	30
CMX 73	19	27	7	99	7	25	2214			21		10
CMX 74	19	28	36	99	4	42	2216		24			6
CMX 75	19	28	0	99	6	42	2226			30		0
CMX 76	19	27	31	99	14	51	2300	36				0
CMX 77	19	27	16	99	13	23	2290	36				0
CMX 78	19	27	18	99	11	23	2243		18			12
CMX 79	19	27	19	99	10	24	2232		24			8
CMX 80	19	27	13	99	9	8	2222		21			9

Au. - Autoportada Ar. - Arriestrada Mo. - Monopolo Ma. - Mastil

Tabla 3.3. Características técnicas y geográficas de la red local actual (Continuación)

NOMBRE	LATITUD NORTE			LONGITUD OESTE			ASNM (m)	Torre (m)				Construcción (m)
	°	'	''	°	'	''		Au.	Ar.	Mo.	Ma.	
CMX 81	19	28	23	99	8	14	2219	36				0
CMX 82	19	27	58	99	13	7	2279		21			6
CMX 83	19	27	54	99	12	6	2279			36		0
CMX 84	19	28	8	99	11	3	2236	30				0
CMX 85	19	27	54	99	9	47	2225		24			5
CMX 86	19	28	32	99	14	26	2309	30				0
CMX 87	19	28	44	99	13	28	2263		27			3
CMX 88	19	28	31	99	12	28	2257		21			7
CMX 89	19	28	38	99	11	36	2243	30				0
CMX 90	19	28	32	99	9	15	2222	36				0
CMX 91	19	29	30	99	15	3	2278		21			8
CMX 92	19	29	37	99	13	53	2274		18			12
CMX 93	19	29	25	99	12	45	2248	30				0
CMX 94	19	29	20	99	11	54	2243		27			0
CMX 95	19	29	9	99	10	55	2236			30		0
CMX 96	19	29	18	99	9	53	2225	30				0
CMX 97	19	29	29	99	8	56	2225	30				0
CMX 98	19	29	38	99	8	10	2225	30				0
CMX 99	19	29	18	99	7	1	2210		18			6

Au. - Autosoportada Ar. - Arriestrada Mo. - Monopolo Ma. - Mastil

Tabla 3.3. Características técnicas y geográficas de la red local actual (Continuación)

Partida	Enlace		Distancia Km	Sitio 1			Sitio 2			Frecuencia GHz	Disp %
	Sitio 1	Sitio 2		Azimut °	Antena Principal		Azimut °	Antena			
					Diámetro (m)	Altura (m)		Altura (m)	m/dBi		
1	CMX 17	CMX 18	2.97	70.64	0.6/40.5	30	250.65	30	0.6/40.5	23	99.9998
2	CMX 18	CMX 32	2.48	44.97	0.6/40.5	30	224.98	30	0.6/40.5	23	99.9998
3	CMX 32	CMX 33	4.2	69.65	0.6/40.5	30	249.86	30	0.6/40.5	23	99.9997
4	CMX 18	CMX 19	4.44	101.58	1.2/46.3	30	281.6	20	1.2/46.3	23	99.9999
5	CMX 17	CMX 5	3.85	205.59	0.6/40.5	30	25.58	20	0.6/40.5	23	99.99973
6	CMX 5	CMX 7	7.89	124.39	1.2/42.5	25	304.41	25	1.2/42.5	15	99.99982
7	CMX 5	CMX 1	5.36	201.73	0.6/36.5	32	21.73	30	0.6/36.5	15	99.99927
8	CMX 17	CMX 9	4.89	260.13	0.6/46.3	27	80.21	28	0.6/46.3	23	99.99989
9	CMX 9	CMX 4	2.33	209.29	0.6/46.3	20	29.29	27	0.6/46.3	23	99.99985
10	CMX 2	CMX 1	5.22	115.82	0.6/36.5	20	295.84	20	0.6/36.5	15	99.9993
11	CMX 6	CMX 7	4.93	172.65	0.6/40.5	25	352.85	25	0.6/40.5	23	99.99961
12	CMX 4	CMX 8	2.38	297.78	0.6/40.5	25	117.77	25	0.6/40.5	23	99.99985
13	CMX 3	CMX 8	2.311	69.04	0.6/40.5	25	249.04	25	0.6/40.5	23	99.99962
14	CMX 13	CMX 8	2.66	138.77	0.6/40.5	40	318.78	35	0.6/40.5	23	99.99983
15	CMX 13	CMX 24	2.14	347.41	0.6/40.5	29	167.41	28	0.6/40.5	23	99.99986
16	CMX 25	CMX 14	2.26	146.21	0.6/40.5	30	326.22	30	0.6/40.5	23	99.99985
17	CMX 25	CMX 27	1.48	43.5	0.6/40.5	30	223.5	30	0.6/40.5	23	99.99989
18	CMX 26	CMX 25	1.39	155.16	0.6/40.5	27	335.16	25	0.6/40.5	23	99.99989
19	CMX 24	CMX 25	1.76	96.01	0.6/40.5	30	276.02	30	0.6/40.5	23	99.99987
20	CMX 22	CMX 23	1.78	55.18	0.6/40.5	29	235.19	30	0.6/40.5	23	99.99987
21	CMX 23	CMX 24	1.74	124.53	0.6/40.5	25	304.54	25	0.6/40.5	23	99.99988
22	CMX 21	CMX 22	1.85	105.45	0.6/40.5	30	285.45	27	0.6/40.5	23	99.99987
23	CMX 20	CMX 21	51.04	55.18	0.6/40.5	25	231.04	25	0.6/40.5	23	99.99988
24	CMX 12	CMX 20	1.82	58.35	0.6/40.5	30	238.36	30	0.6/40.5	23	99.99987
25	CMX 11	CMX 12	1.57	51.24	0.6/40.5	30	231.25	30	0.6/40.5	23	99.99988
26	CMX 10	CMX 11	1.58	96.65	0.6/40.5	30	266.66	30	0.6/40.5	23	99.99988
27	CMX 35	CMX 21	1.42	133.93	0.6/40.5	30	313.93	30	0.6/40.5	23	99.99989
28	CMX 34	CMX 35	1.76	102.09	0.6/40.5	35	282.1	31	0.6/40.5	23	99.99987
29	CMX 37	CMX 34	1.87	211.06	0.6/40.5	35	31.05	35	0.6/40.5	23	99.99987
30	CMX 37	CMX 39	1.56	48.85	0.6/40.5	25	228.85	25	0.6/40.5	23	99.99988

Tabla 3.4. Características técnicas y geográficas de la red local actual

3.3 NECESIDADES DE LA RED

El mercado de comunicación inalámbrica mexicano considerado en 1995 como el segundo más importante de latinoamérica, ha sufrido cambios, como consecuencia de las variabilidades del poder adquisitivo, que han originado las crisis económicas nacionales. Sin embargo, es interesante visualizar el panorama de la comunicación inalámbrica cuyo campo se hace cada vez más amplio. En 1992 se observó falta de madurez en cuanto al empleo de las tecnologías inalámbricas. Hubo baja rentabilidad para las empresas prestadoras de esos servicios y en tales circunstancias se inhibía la competencia en la actividad para proporcionar comunicación inalámbrica¹⁹.

No obstante se observa un crecimiento paulatino en el número de suscriptores, aunque la rentabilidad global presentaba variaciones negativas como resultado de la crisis en la economía mexicana, a modo de ejemplo es viable considerar las cifras de la tabla 3.5.

Año	Número de suscriptores de comunicación inalámbrica
1992	309,737
1993	379,753
1994	569,251
1995	686,061
1996	865,000
1997	1'125,000
1998	1'630,000
1999	2'200,000
2000	3'000,000

Tabla 3.5. Resumen de suscriptores por año de comunicación inalámbrica en México

Respecto de esta perspectiva se observa un incremento en el número de suscriptores relativamente lógico y un tanto discreto durante los años 1992 a 1995, pero es necesario señalar que 1996 fue un año que podría señalarse de parteaguas a raíz del foro nacional de acceso inalámbrico y de servicios de comunicación personal realizado en la ciudad de Cancún Quintana Roo, donde fueron estimuladas las posibilidades de servicios inalámbricos y el uso de tecnologías de mayor rendimiento.

La secretaría de telecomunicaciones y transportes mediante la Comisión Federal de Telecomunicaciones obtuvo excelentes elementos para establecer procedimientos y reglas aplicables en lo que sería la subasta de frecuencias y concesiones del espectro radioeléctrico, del foro antes mencionado.

Como consecuencia de esto, se incrementaron los servicios notablemente hacia correo de voz, mensajes, fax, acceso a bancos y enlace a otros servicios de valor agregado. Por lo que se refiere al servicio de comunicaciones inalámbricas, los

¹⁹ Wireless Comunicaciones Vol. 20 No. 5

expertos indican que 1997 fué un año clave para el desempeño de los mismos sistemas, cuando las acciones para conformar este servicio son determinantes a la par en que se recupera la economía en México.

Los nuevos sistemas inalámbricos no son una forma de competir con el tradicional servicio de telefonía celular, sino por el contrario es ampliar con un gran salto los servicios inalámbricos en general. Ya el público usuario solicita cada día más la información de estos sistemas, siendo este concepto de comunicación personal como el paso siguiente a la telefonía celular.

Por lo antes expuesto los proyectos de expansión de las redes de transmisión nacionales y locales de alta capacidad seguirán apareciendo conformando una inmensa malla de medios de comunicación que deberán ser altamente confiables, de alta calidad y de bajo costo. Uno de los aspectos importantes en el desarrollo de estos medios de transmisión es determinar la frecuencia de operación y el ancho de banda requerido para estos fines de excelencia en caso de transmisión vía microondas, equipos e instalaciones escalables para proyecciones a futuro, como: nodos inteligentes en los que se puedan señalar rutas alternas desde una consola principal, sistema de gestión con software de alto nivel compatible con otros sistemas en el presente y el futuro.

Por otro lado la red local en el área metropolitana esta diseñada de tal forma (configuración en estrella) que en un futuro crearía problemas de conexión entre sitios por no existir respaldo alterno de comunicación y se requiere desarrollar la proyección de esta red con los mismos parámetros ya expuestos en el párrafo anterior. Asimismo estos parámetros deberán ser aplicables a las principales ciudades del país, tomando en cuenta su situación geográfica para conformar su infraestructura, este criterio deberá aplicarse a ciudades como: Toluca, Puebla, Querétaro, Aguascalientes, Guadalajara, León, Morelia, San Luis Potosí, Zacatecas, Tampico, Acapulco y Veracruz entre otras.

La expansión de la red hacia el pacífico (proyecto inmediato) y hacia la región 1 (proyecto a largo plazo) para beneficiar al mayor número de poblaciones.

4. ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE CONEXION

Una vez enmarcado el estado actual de la red y las necesidades de la misma, se debe contemplar el objetivo de familiarizarse con los sistemas de ingeniería en el diseño de sistemas de microondas. Teniendo que valorar como punto inicial el diseño de la documentación y la distribución del equipo a utilizar en un plan de tráfico, un diagrama de bloques, un diagrama de bloque y nivel, y un diagrama de bastidores. Los parámetros que el sistema de ingeniería debe contemplar para un diseño en orden apropiado, deben ser: la selección de acuerdo al plan de tráfico generado, el tipo del sistema de alarmas y la compatibilidad con otros sistemas, el respaldo de baterías con voltajes apropiados, y el diagrama de bastidores.

El sistema de distribución (layout) y el plan de tráfico, son los documentos más importantes y cruciales para el diseño. Donde el Sistema de Distribución (layout) es la presentación física en forma documental de los sitios, las rutas y el tipo de equipo con la capacidad de este. El Plan de Tráfico nos muestra el proyecto de asignación de los sitios, así como las bases de la documentación y el diseño, siendo el plan de tráfico una excelente herramienta para el mantenimiento del sistema y futuros planes. En el plan de tráfico se asigna el reconocimiento instantáneo para la capacidad de los respaldos del sistema.

Resumiendo, para el diseño ingenieril de los sistemas de telecomunicaciones se deberán plantear en orden cronológico los siguientes documentos:

- **Sistema de distribución (layout)²⁰ (figura 4.1)**
 - a) Generación de los diagramas de rutas
 - b) Presentación de sitios y nombres
 - c) Presentación de tipo y capacidad de equipo
 - d) Presentación de frecuencia utilizada

²⁰ HARRIS Communication, Digital Microwave Link Engineering Technical Paper Collection

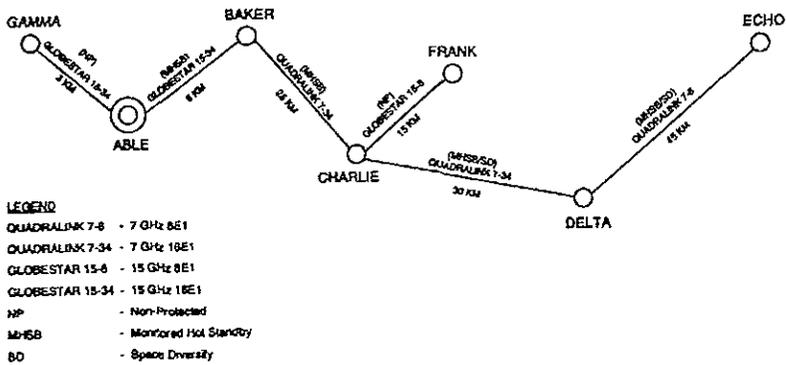


Figura 4.1 Sistema de distribución

- **Plan de tráfico (Figura 4.2)**

- Presentación de subelementos y productos del sistema
- Documentación del planteamiento de la red
- Generación de equipo y lista de materiales
- Es una referencia rápida para el mantenimiento del sistema
- Es una buena referencia para planteamientos futuros

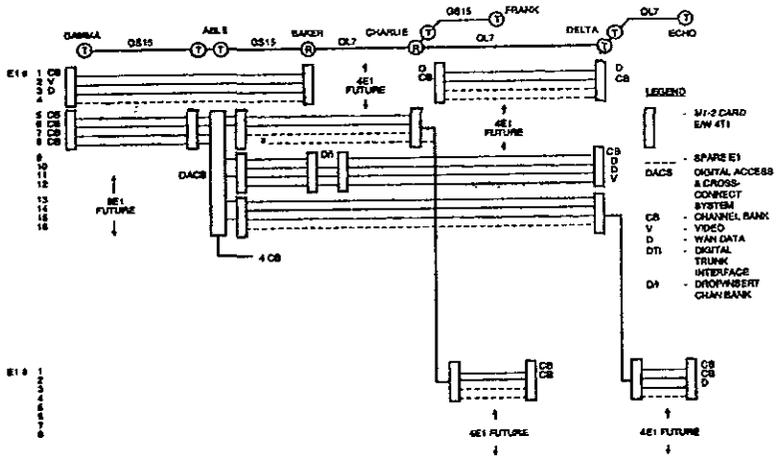


Figura 4.2 Plan de tráfico

• Diagrama de bloques (Figura 4.3)

- a) Ilustra: las conexiones de las señales, la configuración de los multiplexores, el mayor número de componentes en cada sitio y el sistema de alarma.

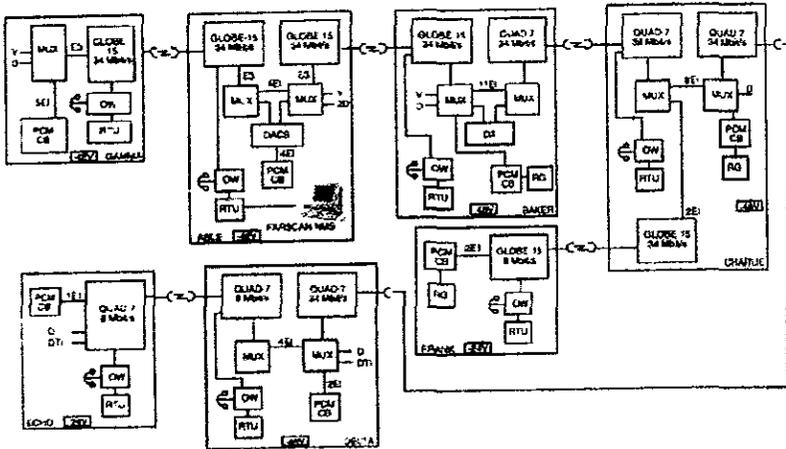


Figura 4.3 Diagramas de bloques

- Diagrama de bloques y niveles (Figura 4.4)

a) Ilustra: las conexiones de las señales, la configuración de los multiplexores, el mayor número de componentes en cada sitio y el sistema de alarma.

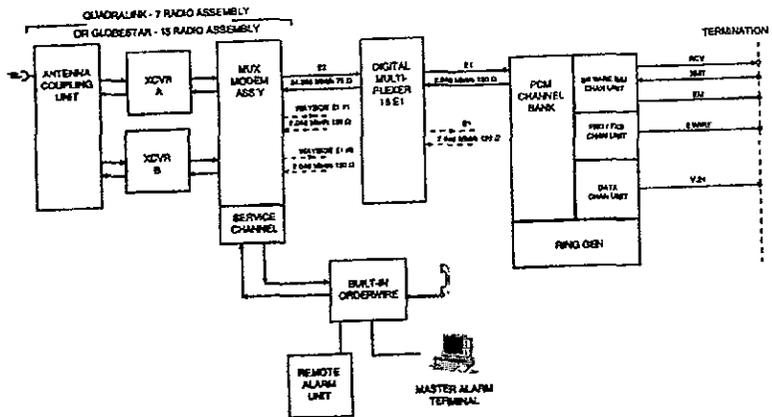


Figura 4.4 Diagrama de bloques y niveles

- **Diagrama de Bastidores (Figura 4.5)**

a) Ilustra: el montaje del equipo, la cantidad y posición de cada equipo y el herraje requerido por el sitio.

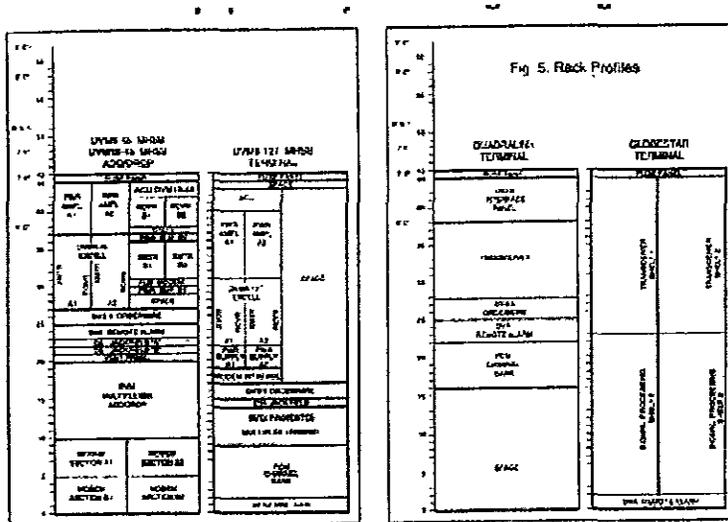


Figura 4.5 Diagrama de bastidores

Una vez contemplados los principios básicos para efectuar un buen análisis de ingeniería en el diseño de los sistemas de telecomunicaciones, se debe tomar en cuenta que el software y hardware especializado deberá constituirse con una tónica de manera fácilmente escalable, con la opción de poder soportar en un futuro nuevos servicios con las conexiones actuales en forma directa a una red troncal. La filosofía deberá ser, poner a disposición del operador una plataforma de transporte que permita la integración de todos los tipos de servicios que este ofrece a sus clientes, dentro de los cuales figuran los servicios trunking (servicios móviles).

En la selección de la plataforma se deberán tomar en cuenta además de lo ya estipulado: nivel de jerarquía, designación, número de señales, velocidad de bits y código de línea. La tabla 4.1 nos muestra un ejemplo de la selección de una plataforma:

Nivel de jerarquía	Designación	Número de señales	Velocidad [kb/s]	Código de línea
CERO	E0	30/E1	64	AMI
PRIMERO	E1	1	2048	HDB3
SEGUNDO	E2	4	8448	HDB3
TERCERO	E3	16	34368	HDB3
CUARTO	E4	64/63	139264	CM1

Tabla 4.1 Niveles de jerarquía

Una vez efectuada la selección de la plataforma a utilizar, con la característica de ser escalable a futuro como parte neurálgica, se deberán seleccionar los nodos a utilizar en la red, que de una forma general se podrían describir como multiplexores²¹, pero estas interfaces además de *cumplir con este papel*, nos permiten efectuar conexiones hacia diferentes plataformas y/o diferentes enrutamientos en caso de ser necesario, dentro de la misma red, este último caso se puede presentar debido a fallas del equipo y/o a la demanda de información, siendo la elección del nodo enmarcada por la capacidad, el espacio físico y la memoria del procesador, de igual forma deberá cumplir en primera instancia con las necesidades primarias del usuario, pero posteriormente deberá contar con la opción de ser escalable para futuras necesidades que permitan proteger la operación del sistema y la inversión del mismo. Los nodos se configuran con una combinación de unidades comunes y de módulos de interfaz para lograr la flexibilidad con la que debe contar la unidad de inserción destinada a diferentes propósitos.

La figura 4.6(a) nos muestra un diagrama a bloques de un sistema que no utiliza un nodo central, y podemos observar que el tráfico se satura en la comunicación hacia los diferentes puntos. En la figura 4.6(b) se presenta la misma red utilizando un nodo principal de donde se puede observar que la información hacia los diferentes puntos de la red es de una forma priorizada y ordenada hacia estos, de la misma forma se puede observar la facilidad de efectuar nuevos enrutamientos, sin necesidad de llevarlo a cabo en forma física, sino por medio de un Software y la utilización del mismo cableado.

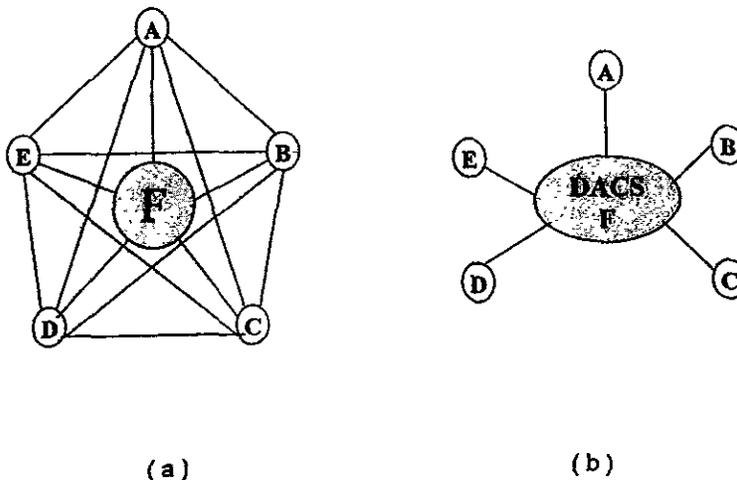


Figura 4.6 (a) Sistema no utilizando DACS y (b) Sistema utilizando DACS

²¹ FARINON, Digital Microwave Systems Applications Seminar

La figura 4.7. nos muestra un enlace de dos redes distintas con la utilización de dos nodos, de donde se puede observar que a través de los mismo se puede enrutar cada red por separado.

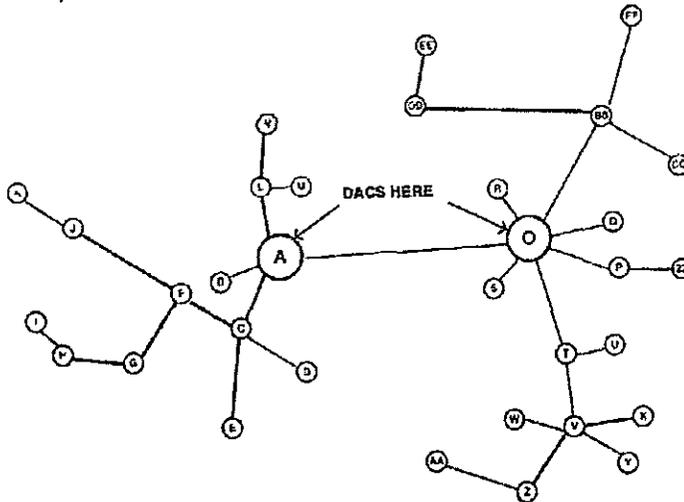


Figura 4.7 Ejemplo de un enlace de dos redes distintas

En un nodo se pueden manejar dependiendo de los anchos de banda y equipo utilizado, diferentes cantidades de información, denominadas según el nivel de jerarquía como E0, E1, E2, E3 y E4, en apego a la norma europea (Confederación Europea Postal y Telegráfica "CEPT"). Haciendo hincapié que dicha norma es la utilizada en México.

5. SISTEMA DE GESTION

El sistema de gestión de la red de telecomunicaciones NMS (Network Management System) es aquel que nos proporciona todas las herramientas necesarias para el buen funcionamiento del hardware de la red. En la práctica esto significa, control real de extremo a extremo sobre toda la red, desde el nivel troncal hasta las dependencias del usuario. Adicionalmente administra las diferentes tareas a realizar sobre la red, tales como, asignación de capacidad, prestación de nuevos servicios, supervisión de la calidad de la red, identificación de fallas, entre otras.

5.1 SISTEMA DE GESTION ACTUAL

La inteligencia para la gestión de la red actual se distribuye en una jerarquía de tres capas en el sistema. En el nivel más alto nos encontramos con la gestión de la red basada en las computadoras del sistema de gestión y/o en los microcomputadores tolerantes a fallas. Tras ello, las funciones a nivel de nodo de red están controladas por una unidad dedicada que incorpora microprocesadores. Finalmente, todas las interfases de los nodos están controlados también por microprocesadores incorporados. El sistema de gestión se hace cargo de las funciones de gestión de fallas, configuración, contabilidad, calidad de funcionamiento y seguridad de cada unidad, nodo modem y servicio de la red.

En caso de que ocurra una falla que afecte el servicio, el tráfico puede ser reencaminado automáticamente, así el servicio no se verá afectado y puede procederse con las tareas de reparación. El operador nacional podrá también asignar diferentes categorías de servicio para los operadores regionales, de manera que los de mayor importancia estén siempre protegidos.

El sistema de gestión también tiene características especiales como la regionalización de la red privada virtual VPN (Virtual Private Network). Con esto, una red extensa puede ser dividida en regiones basándose en un criterio geográfico y de esta manera los operadores regionales podrán visualizar sus regiones particulares como una red separada, que la hace más fácil de administrar o gestionar, figura 5.1. La opción red privada virtual "VPN" permite al operador delegar el control de algunas funciones de la red a ciertos operadores regionales, que pueden gestionar su parte de la red de manera independiente, desde recibir información de fallas, hasta asignar capacidades en sus interfases figura 5.2.

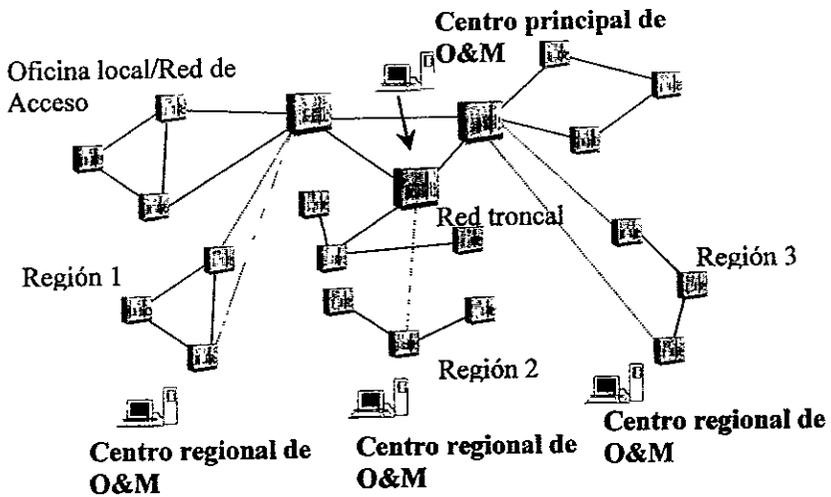


Figura 5.1 Redes Regionales

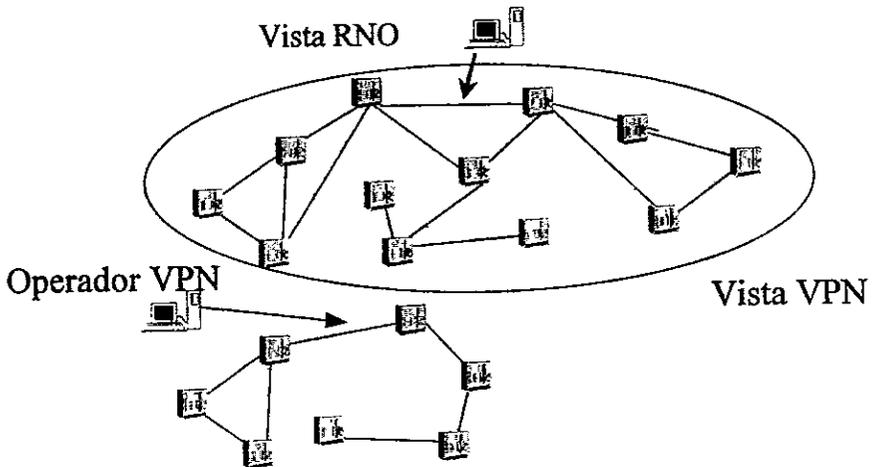


Figura 5.2 Red Privada Virtual

Las aplicaciones de gestión de la red se implementan como un conjunto de componentes interactivos y no interactivos basados en la arquitectura de regiones. Los componentes interactivos, o regionales, forman la interfaz gráfica de usuario del sistema que proporciona un conjunto integrado de herramientas ("NMS" Toolbox) para la gestión de la red. Los componentes no interactivos, o servidores, realizan tareas no visibles para el usuario y son los que prestan los servicios interactivos. Estos componentes se representan en la figura 5.3.

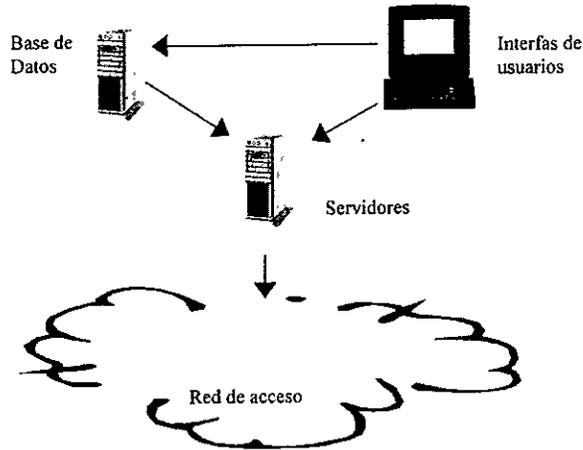


Figura 5.3 Componentes no interactivos o servidores

La arquitectura del sistema de gestión puede configurarse desde un usuario único o usuarios múltiples.

En el caso de usuario único se utiliza para gestionar redes pequeñas de hasta un par de cientos de nodos. Se pueden ir añadiendo nuevas estaciones de trabajo en cualquier momento y las funciones y servicios se incrementan simplemente actualizando el sistema de gestión, figura 5.4.

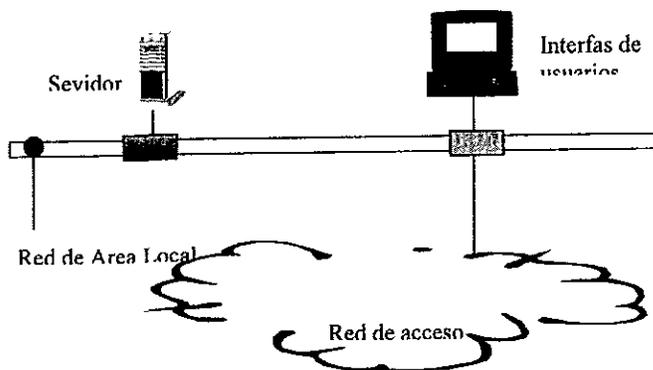


Figura 5.4 Sistema de gestión en caso de usuario único

La arquitectura del sistema de gestión para usuarios múltiples se utiliza en redes de mayor tamaño, se pueden distribuir entre varias computadoras, de acuerdo con el crecimiento de la red componiendo así una arquitectura basada en LAN. Tal como se ilustra en la figura 5.5. Este caso de arquitectura permite gestionar una red de miles de nodos con el mismo tiempo de respuesta que una red compuesta por un número reducido de nodos.

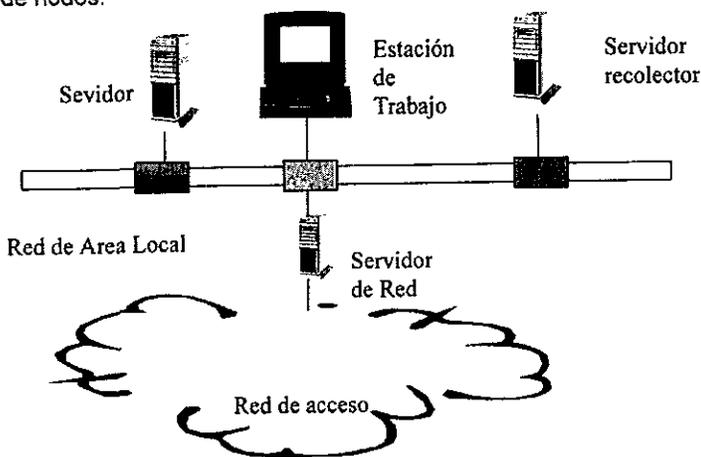


Figura 5.5 Sistema de gestión para usuarios múltiples

Todos los componentes, desde los modems hasta los nodos troncales deben ser gestionables desde un único centro de gestión e, integrar todos los protocolos de transmisión comunes y estándares en una misma red gestionable. Estos dos factores permiten considerables ahorros, ya que pueden optimizar la capacidad de la red y los recursos para las necesidades que se tengan en ese momento, garantizando con esto la posibilidad de detectar y resolver con rapidez los problemas que surjan en la red. Así mismo se requiere de un sistema de telecomunicaciones que pueda ser actualizado con nueva tecnología cuando ésta esté disponible.

El sistema de gestión deberá contar con una plataforma que permita al operador construir una red de transporte integrada y orientada al servicio, que soporte voz, datos, video, y a la vez servicios de líneas alquiladas o conmutadas. También deberá contar con la posibilidad de que los usuarios finales puedan migrar hacia futuros servicios con conexión directa a una red troncal de jerarquía digital.

La red de telecomunicaciones deberá poner a disposición del operador una plataforma de transporte de información que permita la integración de todos los tipos de servicios que éste quiera ofrecer a sus clientes. Toda la red se encontraría bajo la supervisión y control de un único sistema de gestión; con una utilización más eficiente de la misma, debido a la integración de servicios y a la concentración de tráfico, con la fácil implementación de nuevos servicios, gestión y operación diaria.

El sistema de gestión de la red es una herramienta en software de alto nivel que ayuda al operador a obtener el mayor rendimiento posible de las capacidades intrínsecas del sistema, con los siguientes beneficios:

- Todas las tareas podrán ser administradas en modo remoto desde una única localización, logrando la disminución de costos.
- Creación de servicios diferenciados, garantizando altos niveles de servicio y disponibilidad de paquetes especiales tales como recuperación ante desastres o reencaminamiento automático.
- Delegación del control sobre ciertos subconjuntos de la red, a clientes seleccionados con el concepto de red privada virtual.
- Gestionar redes de gran tamaño de manera eficiente y sencilla basándose en regiones.
- Gestión real de extremo a extremo, desde el nivel troncal hasta las dependencias del cliente.
- Planificar y definir la topología de red más eficiente descubriendo cuellos de botella y redundancia de la misma.

Por lo expuesto anteriormente, se requiere que el sistema de gestión se divida en niveles jerárquicos y áreas funcionales, con la finalidad de poder ser confiable, de fácil operación y escalable.

La gestión de la red puede dividirse en cinco niveles jerárquicos que son (Figura 5.7):

- Elementos de red (nodos, unidades terminales de la red, etc.)
- Gestión de elementos de red (parametrización)
- Gestión de red (control de extremo a extremo)
- Gestión de servicios (gestión de calidad, gestión de fallas de circuitos)
- Gestión del negocio (contabilidad)

Cada nivel puede asimismo dividirse en áreas funcionales tales como:

- Gestión de calidad
- Gestión de fallas
- Gestión de configuración
- Gestión de contabilidad
- Gestión de seguridad

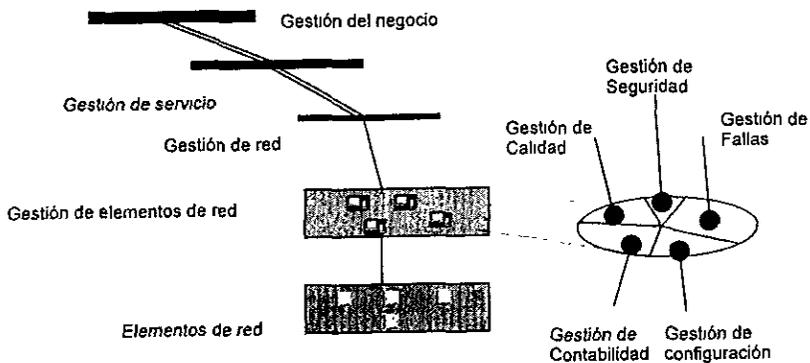


Figura 5.7 Niveles jerárquicos como áreas funcionales

Para cumplir con el esquema de gestión planteado anteriormente, se requerirá de definir la topología y configuración de la red, de crear y gestionar conexiones, realizar pruebas sobre los circuitos para detectar fallas y medir la calidad de los mismos, así como de los medios de transmisión, gestionar los elementos de la red como nodos, unidades, interfases y unidades terminales de usuario, supervisar fallas y el estado de éstas, y simular las posibles reacciones del equipo, supervisar la confiabilidad de los enlaces, restituir los enlaces caídos en los nodos, mantenimiento de un directorio de clientes, producir informes de tiempo de conexión y permitir el acceso a ciertos usuarios al sistema de gestión. (Figura 5.8).

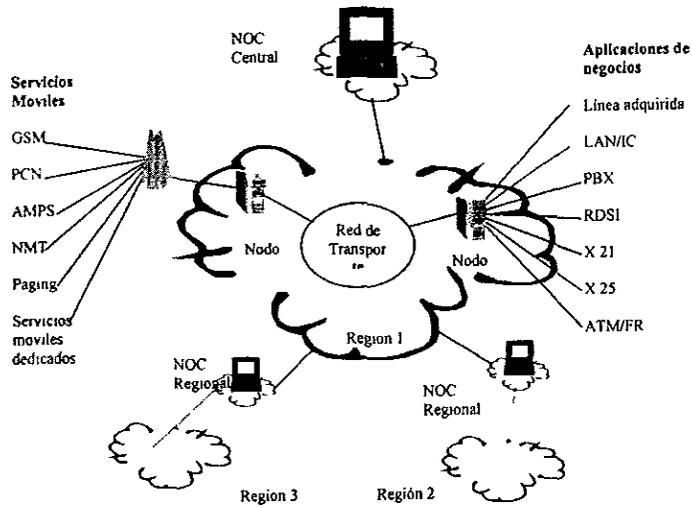


Figura 5.8 Sistema de Gestión

6. RADIO ENLACES DIGITALES DE MICROONDAS

Para el correcto diseño de los enlaces de microondas con radios digitales se deben considerar cuatro parámetros que cobran gran importancia en este tipo de diseños y que a continuación se listan:

1. **Velocidad de transmisión digital:** Afecta directamente al equipamiento, es decir conforme aumenta la velocidad de transmisión, el equipamiento aumenta notablemente, considerando como baja capacidad de 2 a 8 [Mb/s], media capacidad a 34 [Mb/s] y alta capacidad de 155 [Mb/s] en adelante.
2. **Eficiencia espectral (ancho de banda):** Proporciona la cantidad de información que se puede transmitir por hertz de frecuencia. Con una eficiencia efectiva en la potencia se puede proporcionar el nivel requerido en función de la tasa de errores establecida previamente.
3. **Desvanecimiento por multitrayectoria:** Es la susceptibilidad que todo enlace tiene al desvanecimiento por multitrayectoria, dependiendo directamente de la distancia del enlace, frecuencia, tipo de modulación y tasa de errores requerida.
4. **Disponibilidad del radio enlace:** Se encuentra dada en porcentaje de tiempo del propio servicio, por recomendaciones de ITU-R (International Telecommunications Union – Recommendation) ésta es de 99.999%, sin ignorar que algunas empresas son más estrictas con este parámetro y es claro que repercute directamente en el equipamiento del enlace.

En primer lugar hablaremos de la velocidad de transmisión que se encuentra ligada al ancho de banda utilizado y al nivel de modulación que se requiera.

6.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DIGITAL

La capacidad de un sistema de comunicación representa el número de símbolos independientes que pueden pasarse, a través del sistema, en una unidad de tiempo determinada. El símbolo fundamental es el dígito binario bit. Por tanto, a menudo es conveniente expresar la capacidad de información, de un sistema, en bits por segundo [bps]. En 1928, R. Hartley²² desarrolló la relación entre el ancho de banda, la línea de transmisión, y la capacidad de información. Expresada en forma sencilla, la ley de Hartley es:

$$I \propto B \times T$$

6.1

²² Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Tomasi, Pag.455

Donde I = Capacidad de información [bps]
 B = Ancho de banda [Hz]
 T = Línea de transmisión [s]

A partir de la ecuación 1 se puede ver que la capacidad de información es una función lineal del ancho de banda y de la línea de transmisión y es directamente proporcional a ambos. Si se cambia el ancho de banda o la línea de transmisión, ocurrirá un cambio directamente proporcional en la capacidad de información.

En 1948, Shannon, publicó un artículo relacionado a la capacidad de información de un canal de comunicación al ancho de banda y a la relación señal a ruido. matemáticamente, el límite de Shannon para la capacidad de información es

$$I = B \log_2 (1 + S/N) \quad 6.2$$

O

$$I = 3.32 B \log_{10} (1 + S/N) \quad 6.3$$

Donde I = Capacidad de información [bps]
 B = Ancho de banda [Hz]
 S/N = Relación de potencia señal a ruido [adimensional]

Ejemplo

Para un canal de comunicaciones de banda de voz estándar, con una relación de potencia señal a ruido de 1000 (30 dB) y un ancho de banda de 2.7 [kHz], el límite de Shannon para la capacidad de información es

$$I = 2700 \log_2 (1 + 1000) = 26.9 \text{ [kbs]}$$

La fórmula de Shannon suele tener una interpretación equivocada. Los resultados del ejemplo indican que 26.9 [kbps] se pueden transferir a través de un canal de 2.7 [kHz]. Quizás esto sea cierto, pero no se puede hacer con un sistema binario. Para lograr una velocidad de transmisión para la información e 26.9 [kbps] a través de un canal de 2.7 [kHz], cada símbolo transmitido debe contener más de un bit de información. En consecuencia, para alcanzar el límite de Shannon para la capacidad de información, se debe utilizar los sistemas de transmisión digital que tienen más de dos condiciones de salida (símbolos).

6.2 RADIO DIGITAL

Los elementos que distinguen un sistema de radio digital de un sistema de radio AM, FM, o PM que en un sistema de radio digital, las señales de modulación y demodulación son pulsos digitales, en lugar de formas de ondas analógicas. El radio digital utiliza portadoras analógicas, al igual que los sistemas convencionales. En

esencia, hay tres técnicas de modulación digital que se suelen utilizar en sistemas de radio digital: transmisión (modulación) por desplazamiento de frecuencia (FSK), transmisión(modulación) por desplazamiento de fase (PSK), y modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

6.2.1 MODULACIÓN FSK

6.2.1.1 TRANSMISOR DE FSK

Con el FSK binario, la frecuencia central o de portadora se desplaza, por los datos de la entra binaria. En consecuencia, la salida de un modulador d FSK binario, es una función escalón en el dominio del tiempo. Conforme cambia la señal de entrada (Figura 6.1) binaria de 0 lógico a 1 lógico, y viceversa, la salida del FSK se desplaza entre dos frecuencias: una frecuencia de marca o de 1 lógico y una frecuencia de espacio o de 0 lógico. Con el FSK binario, hay un cambio en la frecuencia de salida, cada vez que la condición lógica de la señal de entrada cambia. Así, la razón de salida del cambio es igual a la razón de entrada del cambio. En la modulación digital, la razón de cambio en la entrada del modulador se llama razón de bit y tiene las unidades de bits por segundo [bps]. La rapidez de cambio en la salida del modulador se llama baudio o razón de baudio y es igual al recíproco del tiempo de un elemento de señalización de salida. En esencia, el baudio es la razón de línea en símbolos por segundo.

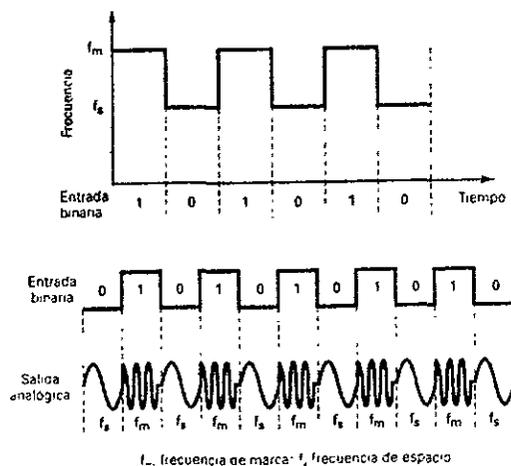


Figura 6.1 Transmisión de FSK binario

6.2.1.2 RECEPTOR DE FSK

El circuito que más se utiliza para demodular las señales FSK binarias es el circuito de fase cerrada (PLL), que se muestra en forma de diagrama a bloques en la figura 6.2. Conforme cambia la entrada de PLL entre las frecuencias de marca y espacio, el voltaje de error de cd a la salida del comparador de fase sigue el desplazamiento de frecuencia. Debido a que sólo dos voltajes de error de salida. Uno representa un 1 lógico y el otro un 0 lógico. En consecuencia, la salida es una representación de dos niveles (binaria) de la entrada de FSK. Por lo regular, la frecuencia natural del PLL se hace igual a la frecuencia central del modulador de FSK. Como resultado, los cambios en el voltaje de error de cd, siguen a los cambios en la frecuencia de entrada analógica y son simétricos alrededor de 0 [V].

El FSK binario tiene un rendimiento de error menos eficiente que QAM y, en consecuencia, rara vez se utiliza para sistemas de radio digital de alto rendimiento. Su uso se limita a bajo rendimiento, bajo costo, módems de datos asíncronos, que se utilizan para comunicaciones de datos sobre líneas telefónicas de banda de voz analógicas.

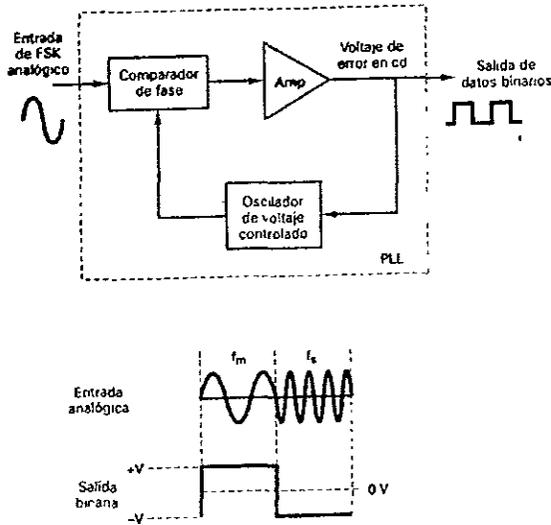


Figura 6.2 Demodulación de FSK-PLL

6.2.2 CODIFICACIÓN EN M-ario

M-ario es un termino derivado de la palabra "binaria". La M es solo un dígito que representa el número de condiciones posibles. La modulación digital FSK es un sistema binario; ya que sólo hay dos condiciones posibles de salida. Una representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico; por tanto, son sistemas M-ario donde $M=2$. Con la modulación digital, con frecuencia es ventajoso codificar a un nivel más alto que el binario.

$$N = \log_2 M$$

6.4

Donde N número de bits
M número de condiciones de salida posible con N bits

Por ejemplo, si se permite que entren 2 bits, en un modulador, antes que se permita cambiar la salida,

$$2 = \log_2 M \text{ y } 2^2 = M \text{ por consiguiente } M = 4$$

Una $M = 4$ indica que, con 2 bits, son posibles cuatro condiciones de salida diferentes. Para $N=3$, $M=2^3$ o 8, etc..

6.2.3 MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA

La modulación de amplitud en cuadratura(QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

6.2.3.1 QAM DE DIECISÉIS

El 16-QAM es un sistema M-ario, en donde $M=16$. Actúa sobre los datos de entrada en grupos de cuatro ($2^4 = 16$). En este tipo de modulación la fase y la amplitud de la portadora transmisora son variadas.

6.2.3.2 TRANSMISOR QAM DE DIECISÉIS

El diagrama a bloques para un transmisor de 16-QAM se muestra en la figura 6.3a. Los datos de entrada binaria se dividen en cuatro canales: El I, I', Q y Q'. La tasa de bits de cada canal es igual a un cuarto de la tasa de bits de entrada ($f_b/4$). Los cuatro bits se introducen en forma serial al derivador de bits; luego se introducen simultáneamente y en paralelo con los canales I, I', Q y Q'. Los bits I y Q determinan la polaridad a la salida de los convertidores de niveles 2 a 4 donde un 1 lógico = positivo y un 0 lógico = negativo. En consecuencia, los convertidores de niveles 2 a 4 generan una señal PAM (Modulación en Amplitud de Pulsos) de nivel 4. Las señales PAM

modulan las portadoras en fase y en cuadratura, en los moduladores de producto. Son posibles cuatro salidas para cada modulador de producto. El sumador lineal combina las salidas de los moduladores de producto de cada canal I y Q y produce las 16 condiciones de salida necesarias para el 16-QAM. La figura 6.3b muestra la tabla de verdad para los convertidores de nivel 2 a 4 y canales I y Q. En la figura 6.3c se muestra el diagrama de constelación para la modulación 16-QAM

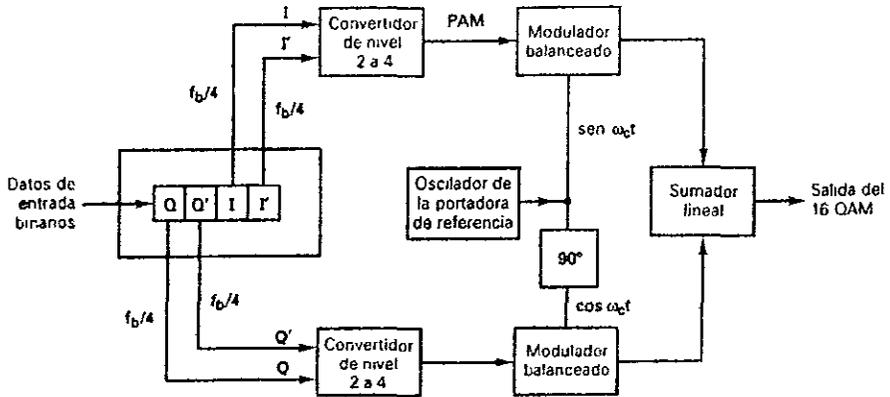


Figura 6.3 a)

Entrada binaria				Salida de 16-QAM	
Q	Q'	I	I'		
0	0	0	0	0.311 V	-135°
0	0	0	1	0.850 V	-165°
0	0	1	0	0.311 V	-45°
0	0	1	1	0.850 V	-15°
0	1	0	0	0.850 V	-105°
0	1	0	1	1.161 V	-135°
0	1	1	0	0.850 V	-75°
0	1	1	1	1.161 V	-45°
1	0	0	0	0.311 V	135°
1	0	0	1	0.850 V	175°
1	0	1	0	0.311 V	45°
1	0	1	1	0.850 V	15°
1	1	0	0	0.850 V	105°
1	1	0	1	1.161 V	135°
1	1	1	0	0.850 V	75°
1	1	1	1	1.161 V	45°

Figura 6.3 b)

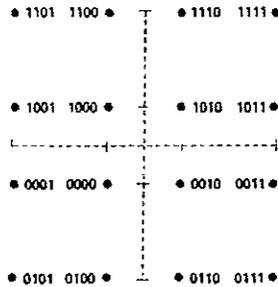


Figura 6.3 c)

Figura 6.3 Modulación de 16-QAM a) Diagrama a bloques para el transmisor b) Tabla de verdad del Modulador c) Diagramas de Constelación

6.2.4 EFICIENCIA DE ANCHO DE BANDA

La eficiencia de ancho de banda (o densidad d información, como a veces se llama) a menudo se utiliza para comparar el rendimiento de una técnica de modulación digital con otra (tabla 6.2). En esencia, es la relación de la tasa de bits de transmisión al mínimo ancho de banda requerido, para un esquema de modulación en particular. La eficiencia del ancho de banda por lo general se normaliza a un ancho de banda de 1 [Hz], en consecuencia, indica el número de bits que pueden propagarse a través de un medio por cada hert de ancho de banda, matemáticamente, la eficiencia del ancho de banda es:

$$\begin{aligned}
 \text{Eficiencia BW} &= (\text{tasa de transmisión [bps]})/(\text{mínimo ancho de banda [Hz]}) && 6.5 \\
 &= [\text{bits/segundo}]/[\text{hertz}] = [\text{bits/segundo}]/[\text{ciclos/segundo}] \\
 &= [\text{bits/ciclo}]
 \end{aligned}$$

Modulación	Codificación	Eficiencia del ancho de Banda [bps/Hz]
FSK	Bit sencillo	≥ 1
8-QAM	Tribit	3
16-QAM	Quadbit	4

Tabla 6.1 Resumen de la Modulación Digital

6.2.5 RENDIMIENTO DE MODULACIÓN

La relación de la densidad de potencia de energía por bit a ruido se utiliza para comparar dos o más sistemas de modulación digital que utilizan diferentes tasas (velocidades) de transmisión (tasa de bit), esquema de modulación (FSK, PSK, QAM), o técnicas de codificación (M-ario). La relación de la densidad de potencia de energía por bit a ruido es simplemente la relación de la energía de un solo bit a la potencia de ruido de 1 [Hz] de ancho de banda. Por tanto, E_b/N_0 normaliza todos los esquemas de modulación multifase, a un ancho de banda común de ruido, permitiendo una comparación más sencilla y más precisa de su rendimiento de error. Matemáticamente E_b/N_0 .

$$E_b/N_0 = (C/f_b)/N/B = CB/Nf_b \quad 6.6$$

En donde

E_b/N_0 Relación de la densidad de potencia de energía por bit a ruido

Rearreglando la ecuación anterior

$$E_b/N_0 = (C/N) * (B/f_b) \quad 6.6b$$

En donde

C/N Relación de potencia de portadora a ruido

B/f_b Relación del ancho de banda de ruido a la tasa de bits

En la ecuación anterior se puede observar que la relación E_b/N_0 es simplemente la relación de la potencia de la portadora a ruido y la relación de ancho de banda de ruido a tasa de bits. Además, de la misma ecuación, se puede ver que cuando el ancho de banda es igual a la tasa de bits, $E_b/N_0 = C/N$.

Se puede observar en la tabla 6.2 que entre más alto es el nivel de codificación utilizado (más alto es el valor de M), más alta es la relación de la potencia de la portadora a ruido mínimo.

Técnica de Modulación	Relación C/N [dB]	Relación E_b/N_0 [dB]
BPSK	10.6	10.6
QPSK	13.6	10.6
4-QAM	13.6	10.6
8-QAM	17.6	10.6
8-PSK	18.5	14
16-PSK	24.3	18.3
16-QAM	20.5	14.5
32-QAM	24.4	17.4
64-QAM	26.6	18.8

Tabla 6.2 Comparación del Rendimiento de Varios esquemas de Modulación Digital (BER=10⁻⁶)

6.3. DESVANECIMIENTO POR MULTITRAYECTORIA

6.3.1. ANÁLISIS DE ASPECTOS DE PROPAGACIÓN²³

En todo enlace de radio es necesario estimar las pérdidas de energía de la señal transmitida al propagarse por el espacio. En el caso de las microondas, éstas pérdidas dependen de muchos factores, tales como la frecuencia y la distancia, y en menor cantidad, por factores propios de la atmósfera. El aire a distintas alturas causa desviación del haz por refracción, y la superficie terrestre, sobre la cual viajan las ondas de radio, puede influir negativamente sobre el nivel de potencia en el sitio de recepción, como se muestra en la figura 6.4.

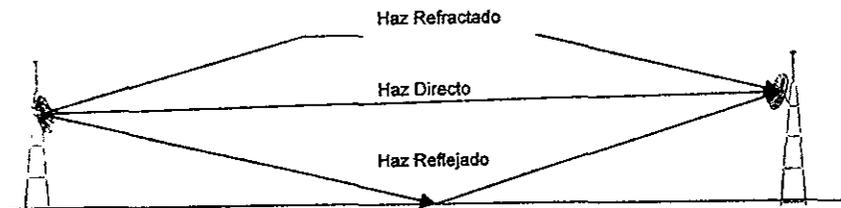


Figura 6.4 Desviación del Haz por refracción y reflexión

La planeación de un sistema de radio requiere una estimación de las pérdidas entre transmisor y receptor. Esto implica que exista un nivel mínimo de potencia en recepción, que distinga entre una señal de buena calidad y una señal irrecuperable. La mayor causa de atenuación en una onda de radio es el desvanecimiento (fading), el cual está en proporción directa a la frecuencia y a la distancia. Esto es debido a que la potencia radiada por una antena se esparce sobre un área relativamente grande. Como resultado, la potencia disponible en las antenas receptoras es sólo una pequeña fracción de la potencia radiada.

En la planeación de los enlaces de microondas existen parámetros que son constantes y variables que a continuación se enumeran:

Parámetros Constantes

- Distancia
- Clima
- Temperatura anual promedio
- Frecuencia
- Configuración del terreno (rugosidad)

²³ Revista Ingeniería LXIII ¼ 1993 pag 139-141

Parámetros Variables

En estos parámetros tenemos únicamente el margen de desvanecimiento (FM). Variable que en este caso significa que el ingeniero tiene control sobre este parámetro. Para obtener el margen de desvanecimiento deseado se puede cambiar el nivel de recepción de señal (RSL), que a su vez puede ser modificado por los siguientes parámetros:

- Potencia de salida del transmisor (P_{wr})
- Ganancia de las antenas ($G_{(ant A)}$ y $G_{(ant B)}$)
- Pérdidas en las líneas de transmisión

6.3.2 ANÁLISIS DE ASPECTO ATMOSFÉRICO

Es importante conocer los efectos que causa la atmósfera sobre una onda de radio. El mayor efecto es la refracción, la cual es causada por cambios en la constante dieléctrica de las distintas capas de aire. La constante dieléctrica de la atmósfera normalmente disminuye en forma gradual al aumentar la altitud. Como resultado, la velocidad de transmisión aumenta con la elevación sobre el suelo, y en promedio, al ser menor la densidad de las capas superiores, el haz es desviado o refractado hacia la tierra. Mientras el cambio en la constante dieléctrica sea lineal con la altura, el efecto neto de la refracción es como si las ondas de radio continuaran en una línea recta sobre la tierra, pero con un radio modificado.

Dependiendo de las características de la región en que se encuentre el enlace, la temporada del año, y la elevación sobre el nivel del mar, se requiere efectuar una corrección sobre la trayectoria del haz. Esto se logra al sustituir el radio verdadero de la tierra r_0 por un radio efectivo r_0k donde:

$$k = \text{radio efectivo de la tierra} / \text{radio verdadero de la tierra} \quad 6.7$$

Y se obtiene una altura h , que es, la distancia vertical entre el haz considerando la tierra plana ($k \rightarrow$ infinito) y la efectiva en cualquier punto dado. Por lo general se toma el valor de $k = 4/3$. Tomando en cuenta la curvatura de la tierra, se puede calcular el libramiento del haz para un obstáculo particular en un enlace dado a partir de la siguiente ecuación:

$$h = (d_1 d_2) / (12.75k) \quad 6.8$$

donde:

- h = Corrección por curvatura de la tierra [m]
- d_1 = Distancia del obstáculo al transmisor [km]
- d_2 = Distancia del obstáculo al receptor [km]
- k = Factor de corrección por curvatura de la tierra

Efectos de la absorción atmosférica y lluvia en la propagación de microondas

En el diseño de radios a frecuencias superiores a los 10 [GHz], es esencial considerar los efectos de la atenuación excesiva causada por lluvias y por la absorción atmosférica. Esta incluye las pérdidas por mecanismos de polarización resonantes en las moléculas de los gases que conforman la atmósfera, así como por partículas suspendidas en el aire, tales como lluvia, niebla, neblina, polvo y humo. La figura 6.5 muestra los valores de atenuación por gases atmosféricos.

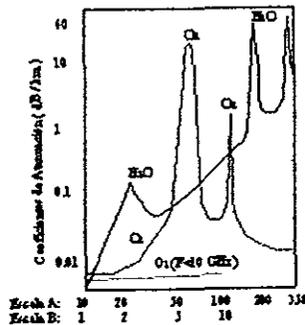


Figura 6.5 Atenuación por gases atmosféricos

Aparte de la atenuación causada por la absorción atmosférica se consideran las pérdidas por lluvia, existiendo varios modelos empíricos cuyos resultados se acercan a las observaciones experimentales. El Modelo Global de Crane es el más ampliamente utilizado por su exactitud y sencillez. Este modelo da un "tiempo total", sobre un periodo anual, de falla del sistema por exceso de atenuación por lluvia en un enlace dado. Se puede aproximar el valor de esta atenuación mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = a \cdot R^b \quad 6.9$$

donde:

α es la atenuación específica en [dB/km]

a y b son constantes para una frecuencia y temperatura de lluvia dada

R es la tasa de lluvia en [mm/h]

Los valores a y b se pueden deducir a partir de las siguientes relaciones.

$$a_v = 4.2 \cdot 10^{-5} f^{2.42} \quad 54 \text{ [GHz]} \geq f \quad 6.10a$$

$$a_v = 1.09 \cdot 10^{-2} f^{0.699} \quad 54 \text{ [GHz]} < f \quad 6.10b$$

$b_v = 0.851f^{0.158}$	$8.5 \text{ [GHz]} \geq f$	6.10c
$b_v = 1.41f^{-0.0779}$	$25 \text{ [GHz]} \geq f > 8.5 \text{ [GHz]}$	6.10d
$b_v = 2.53f^{-0.0272}$	$25 \text{ [GHz]} < f$	6.10e

Estos valores están dados para señales con polarización **Vertical**. En el caso de señales con polarización **Horizontal** se pueden aproximar valores mediante las ecuaciones que a continuación se citan:

$$a_h = 1.06 \cdot a_v \quad 6.11a$$

$$b_h = 1.03 \cdot b_v \quad 6.11b$$

El valor de R se obtiene de fuentes de información meteorológica local, aunque se puede obtener también al identificar la región geográfica de interés en los mapas regionales climático-pluviales del mundo propuestos por Crane. En el caso de la república Mexicana se obtuvo el mapa que se muestra en la figura 6.6.

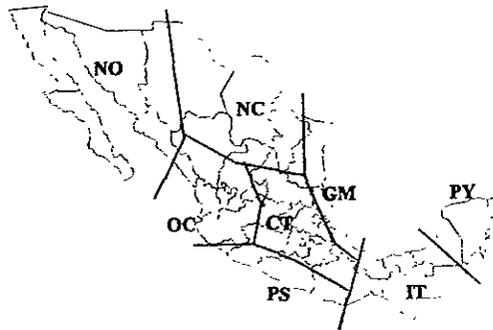


Figura 6.6 Regiones climático - pluviales de México propuestas por Crane

Donde se observa la distribución por regiones atmosféricas y pluviales que se muestran en la tabla 6.2. Los valores de tasa de lluvia R son los valores medios para casos de confiabilidad del 99%.

Región del País	Clave	Tasa de lluvia R[mm/h]
Noroeste	NO	66.00
Norte Centro	NC	33.80
Occidente	OC	77.35
Centro	CT	84.50
Golfo de México	GM	84.45
Pacífico del Sur	PS	77.58
Istmo de Tehuantepec	IT	75.58
Península de Yucatán	PY	73.09

Tabla 6.2 Valores de distribución de lluvia en las regiones pluviales de la República Mexicana

Los pasos para aplicar el modelo de Crane son los siguientes:

1. Determinar la tasa de distribución de lluvia R en la región
2. Establecer la longitud de la separación entre antena
3. Determinar los valores de a y b para la frecuencia y polaridad de interés
4. Calcular la atenuación específica $\alpha = a \cdot R^b$

La atenuación debido a la distancia entre antena del enlace es realmente menor que $\alpha = a \cdot R^b$. Para obtener la atenuación efectiva es necesario calcular un factor de reducción para la distancia efectiva del enlace que se presenta :

$$r = 90 / (90 + 4 \cdot D) \quad 6.12$$

donde: r es el factor de reducción y D es la distancia real entre antenas en kilómetros.

Así, la atenuación efectiva por exceso de lluvia A_{LL} se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$A_{LL} = \alpha \cdot D \cdot r \quad 6.13$$

Donde A_{LL} está en [dB], α en [dB/km] y D en [km]

6.3.3 CÁLCULO DE TRAYECTORIAS

El diseño de enlaces de radio requiere de un cálculo adecuado de la trayectoria del haz propagado. El concepto básico al estimar las pérdidas en transmisión es el de las pérdidas en espacio libre, esto es, en una región libre de objetos que pudiesen absorber o reflejar la energía de la señal.

En condiciones atmosféricas normales, el terreno bajo el haz tiene dos efectos distintos con respecto a las pérdidas en la señal propagada. Uno es el causado por árboles, casas, edificios o montes, los cuales bloquean todo o parte del haz de microondas. El otro es cuando una parte del terreno bajo el haz tiene una superficie lisa o parte del mismo tiene una parte plana o hay agua y por lo tanto pueden reflejar una segunda señal de microondas a la antena receptora. Dado que las microondas tienen un comportamiento parecido al de la luz, se pueden analizar ambos problemas sobre la base de algunas leyes de la óptica.

6.3.3.1 ZONAS DE FRESNEL

Con el fin de eliminar los problemas causados por los obstáculos en la trayectoria, se hace uso de una ley basada en la idea de que todo haz electromagnético enfocado en una dirección dada, concentra gran parte de su energía dentro de superficies con forma de elipsoides de revolución. En el caso de los radios de microondas, las antenas transmisoras y receptoras son los focos del elipsoide. Estas superficies se establecen cuando se incrementa la distancia del transmisor Tx al receptor Rx por un valor de $\lambda/2$, siendo la superficie que delimita la n-ésima zona de Fresnel (Figura 6.7). Estas superficies difieren del centro de haz por un radio determinado por Fresnel (r_F) dado por la ecuación.

$$r_{Fn} = 17.3 \left(\frac{(n \cdot d_1 \cdot d_2)}{D \cdot f} \right)^{1/4} \quad 6.14$$

donde:

- r_{Fn} = radio n - ésimo de Fresnel [m]
- d_1 = distancia del obstáculo a la antena 1 [km]
- d_2 = distancia del obstáculo a la antena 2 [km]
- D = distancia entre antenas [km]
- f = frecuencia de operación del enlace [GHz]

Está comprobado que cerca de la cuarta parte de la energía total de una onda de radio se encuentra dentro de la primera zona de Fresnel. En el caso de enlaces de radios de microondas se evita que algún obstáculo quede dentro de la primera zona de Fresnel, y afecte la potencia de la señal. Esto se logra al aumentar el valor de la altura de las antenas con el fin de librar el obstáculo, sumando el primer radio de la zona de Fresnel y el valor de h obtenido mediante la ecuación 6.8.

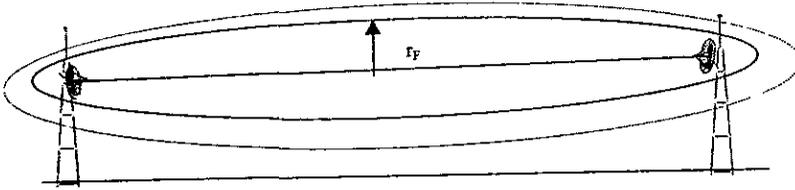


Figura 6.7 Zonas de Fresnel rodeando el haz directo

6.3.3.2 CÁLCULO DE ENLACE

El cálculo de enlaces de radio es un balance donde se toman en cuenta los parámetros de ganancia del sistema, y se comparan con las pérdidas esperadas en la potencia de la señal durante su propagación. Toda mención que se hace a pérdidas y ganancias es referente a su comportamiento con respecto a la potencia de la señal, ya sea en forma de señal eléctrica o de ondas electromagnéticas y se cuantifica preferentemente en términos de decibel [dB].

El principal contribuyente de las pérdidas en un enlace de radio es la atenuación por espacio libre, la cual es debida al esparcimiento que sufren las ondas radiadas de la antena al irse alejando en un frente esférico a partir de la antena, con lo cual disminuye la densidad de potencia de la señal. Estas pérdidas son directamente dependientes de la frecuencia y la distancia, como se observa en la ecuación 6.15.

$$A_{\text{esp}} = 92.4 + 20 \cdot \log F + 20 \cdot \log D \quad 6.15$$

Donde:

F es la frecuencia de operación en [GHz]

D es la distancia total del enlace en [km]

92.45 es el factor de corrección

Las pérdidas totales incluyen las pérdidas por espacio libre, pérdidas por lluvia, gases atmosféricos, reflexión y refracción.

En un sistema de radio, las fuentes principales de amplificación son: a) el amplificador de potencia de RF en el transmisor, b) las antenas transmisora y receptora y c) el amplificador de bajo ruido o de RF en recepción. En la figura 6.8 se muestra la secuencia de cambios en la potencia de la señal durante su transmisión, propagación y recepción.

Debe tenerse presente que casi todos los componentes de un sistema de radio afectan de alguna manera la potencia de la señal, ya sea con pérdidas o con ganancias. Los dispositivos ya mencionados son los que producen ganancias, mientras que los restantes (filtros, mezcladores, conectores, líneas de transmisión y hasta el modulador) causan pérdidas al nivel de potencia de la señal. Es entonces indispensable

que los amplificadores restauren los niveles de señal perdidos durante su procesamiento, además de restar las pérdidas de propagación.

En el caso de los radios de microondas se tiene que el lugar donde se genera mayor ganancia es en el par de antenas. Esto es debido a las altas frecuencias que se manejan, lo cual implica el uso de antenas altamente directivas y con mucha ganancia. La ganancia de las antenas es un factor muy importante en el diseño de enlaces de microondas, porque el aumento de ganancia en el sistema se hace mediante sistemas pasivos. Esto conlleva a que prácticamente se tenga amplificación constante, segura y de bajo costo.

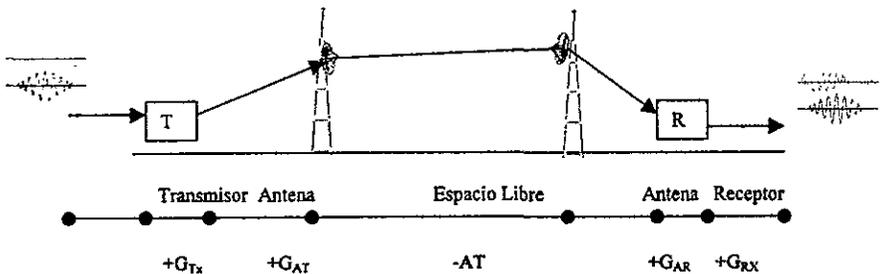


Figura 6.8 Zonas de potencia en un radio enlace de Microondas

Para el caso de antenas parabólicas, su ganancia se obtiene a partir de la ecuación 6.16, donde D_A es el diámetro en metros, F es la frecuencia en [GHz] y G_A es la ganancia de la antena en [dBi]:

$$G_A \text{ [dBi]} = 20 \cdot \log F + 20 \cdot \log D_A \quad 6.16$$

Como se puede observar, el objeto principal es vencer las pérdidas, lo que recae en las antenas, y parcialmente en los amplificadores de RF en transmisión y recepción. Si se suman las pérdidas totales causadas por dispositivos pasivos tanto en transmisión como en recepción se verá que no son nada despreciables, por lo que exigen de un diseño apropiado, no sólo de niveles de potencia en los amplificadores, sino también en cuanto al tamaño de las antenas. En los sistemas de radio, generalmente se toman los valores de potencia del transmisor como un todo, y se proporciona su valor de potencia total en [dBm]. Lo mismo sucede con la etapa receptora, sólo que aquí se requiere conocer el factor de ruido así como el umbral de potencia de recepción, con el cual el receptor puede determinar si la señal recibida tiene un nivel adecuado, o si ésta es muy débil, por lo tanto, irre recuperable. El nivel de ruido también se da en dB, y es recomendable que para todo el sistema se encuentre lo más bajo posible.

Con la información anterior se puede calcular el enlace, en lo que se refiere a los requerimientos de potencia. Con los datos obtenidos anteriormente y mediante la ecuación 6.17 se puede obtener el valor mínimo de potencia que se tendrá en la entrada del receptor, así como su comportamiento con respecto al ruido en la etapa de amplificación inicial.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{atx} - AT - A_{LL} - A_r - A_g - G_{Arx} \quad 6.17$$

donde :

- P_{rx} = potencia de señal recibida [dBm]
- P_{tx} = potencia de transmisión [dBm]
- G_{atx} = ganancia de la antena transmisora [dB]
- AT = atenuación por espacio libre [dB]
- A_{LL} = atenuación por lluvia [dB]
- A_r = atenuación por reflexión terrestre [dB]
- A_g = atenuación por gases atmosféricos [dBm]
- G_{Arx} = ganancia de la antena receptora [dB]

Estos valores son necesarios si se desea hacer un enlace con apreciaciones rigurosas y cercanas a la realidad, sobre todo cuando existe poco margen de error o de interrupción de la transmisión. Es recomendable no dejar muy sobrada la potencia del sistema porque, por un lado, la potencia está regulada por las normas que establecen las instituciones gubernamentales, y por otro, utilizar antenas con demasiada ganancia, las hace directivas y fáciles de desorientar.

A partir de la ecuación 6.17 se obtiene el valor de potencia en recepción, pero este valor por sí mismo no garantiza un buen enlace. Dadas las pérdidas que se generan durante la propagación de la señal de microondas, se requiere que el receptor pueda discriminar entre el nivel de potencia de la señal recibida y el nivel del ruido, el cual se conoce como umbral de potencia de ruido del receptor. La diferencia de potencia, en [dB], es la medida de la calidad de la transmisión. A veces se incluye el valor del umbral de potencia en las hojas de datos de ciertos sistemas de microondas, facilitando los cálculos, pero esto no siempre sucede y hay que obtenerlo. Para poder lograr esto, es necesario conocer el nivel de potencia del ruido. Este se obtiene a partir de la ecuación 6.18 en la cual se incluyen los factores que intervienen en la formación del ruido.

$$P_{umb} = k \cdot T \cdot B \quad 6.18$$

donde :

- P_{umb} = potencia de umbral de ruido [watts]
- k = constante de Boltzmann = 1.38×10^{-20} [joules/K]
- T = temperatura ambiente [K]
- B = ancho de banda del filtro de ruido [Hz]

Al convertir la ecuación anterior a forma de decibeles, se tiene que la constante de Boltzmann es = -198.6 [dBm], el ruido en el receptor a temperatura ambiente en Kelvin es $T = 10 \log T$, y el ancho de banda $B = 10 \log B$ [Hz]. La ecuación 6.18a muestra la conversión a [dB].

$$P_{umb} \text{ [dB]} = -198.6 + 10 \log T + 10 \log B \quad 6.18a$$

Si el ancho de banda está en [MHz], el valor de la ecuación varía en:

$$B \text{ [dB]} = 60 + 10 \log B \text{ [MHz]}$$

Con respecto a la temperatura T [K], se suele tomar la temperatura de ruido del receptor, la cual se proporciona en Kelvin o en [dB] por el propio fabricante, más la temperatura ambiente T_A [dB] = $10 \log T_A$, y acercando $T_A = 17$ [°C], se tiene que:

$$T \text{ [dB]} = 10 \log (273 + 17) = 24.6 \text{ [dB]}$$

Estos valores se sustituyen en la ecuación 6.18a para obtener la potencia del umbral en [dBW] para la ecuación 6.19a y en [dBm] para la ecuación 6.19b

$$P_{umb} \text{ (dB)} = -198.6 + 24.6 + 60 + 10 \log B \text{ (MHz)} + \text{Fig Ruido (dB)} \quad 6.19$$

$$P_{umb} \text{ (dB)} = -144 \text{ dBW} + 10 \log B \text{ (MHz)} + \text{FR} \times \text{ (dB)} \quad 6.19a$$

$$P_{umb} \text{ (dB)} = -114 \text{ dBm} + 10 \log B \text{ (MHz)} + \text{FR} \times \text{ (dB)} \quad 6.19b$$

donde :

- B = Ancho de banda mínimo según la ecuación 6.2
- FR = Figura de ruido (dato proporcionado por el fabricante)

Ya que se tiene el valor de la potencia del umbral de ruido térmico se procede a calcular la potencia de umbral de ruido térmico referida a cierta tasa de error con referencia a la figura 6.3.

$$Thr = \text{threshold} = C/N + P_{umb} \quad 6.20$$

donde:

Thr = Threshold

C = Carrier

N = Noise

Ya que se tiene el valor de la potencia del umbral de ruido térmico se procede a calcular la diferencia entre ésta y la potencia de la señal transmitida obtenida en el receptor, lo cual indica el valor general de la potencia de la portadora sobre la potencia de ruido (C/N), mostrada en la ecuación 6.21.

$$C/N \text{ (dB)} = P_{Rx} - Thr \quad 6.21$$

donde:

C/N = relación potencia de señal / ruido térmico [dB]

P_{Rx} = potencia de la señal recibida

P_{umb} = potencia de umbral de ruido térmico [dB]

Siempre que el valor de C/N sea mayor que cero, la señal será más fuerte que el ruido. Por esta razón se necesita conocer el valor de C/N en un enlace dado, ya que ésta es la mejor manera de medir la calidad del enlace. Por lo regular, se toma como buen valor cuando la potencia de C/N es mayor a los 10 [dB]. Se debe evitar mezclar [dBm] con [dBW], ya que daría un resultado equivocado.

Relacionando los terminos a utilizar :

FM = Margén de desvanecimiento =

= C/N = relación potencia de señal / ruido térmico [dB]

donde:

CFM (Márgen de Desvanecimiento Compuesto) y se puede calcular :

$$CFM = -10 \log (10^{-(FM/10)} + 10^{-(DFM/10)}) \text{ en [dB]}^{24} \quad 6.22$$

donde:

DFM = Margén de desvanecimiento dispersivo para el equipo

El DFM se encuentra en las hojas de datos de los equipos.

²⁴ Digital Microwave Corporation

6.3.3.2.1 RECEPCIÓN CON DIVERSIDAD DE ESPACIO²⁵

En los enlaces mayores de 30 [km] y con una gran superficie reflectora, se puede mejorar la recepción agregando a nuestro sistema una antena de diversidad de espacio en el lado receptor, el agregar esta antena en nuestro sistema no es sencillo ya que el sistema de radio se debe configurar como sistema con diversidad de espacio. La distancia vertical óptima entre las antenas se encuentra dada por la siguiente ecuación :

$$s = 75 * d / (f * h_t) \quad 6.23$$

s = distancia óptima entre las antenas de diversidad de espacio

d = longitud del enlace [km]

f = frecuencia de transmisión [GHz]

h_t = altura de la antena transmisora en el lado remoto [m]

La diferencia vertical entre las antenas no es crítica, pero en la práctica se considera la 1/5 parte del resultado de la ecuación 6.23.

Sin embargo en algunos casos el valor obtenido de la ecuación 6.23 es tan pequeño (menor de 5 metros) que se pueden tomar múltiplos del valor obtenido (2,4,6...).

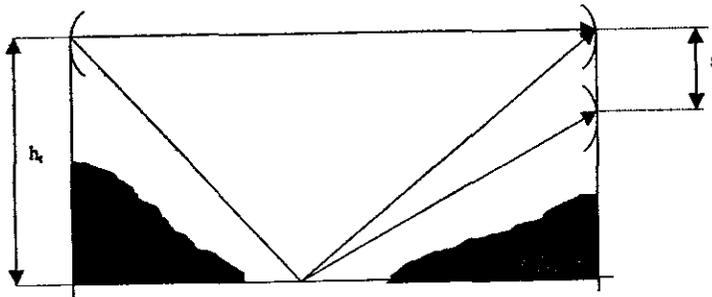


Figura 6.9 Distancia vertical entre las antenas principal y de diversidad de espacio

La antena de diversidad usualmente se instala por debajo de la antena principal, dejando el nivel de recepción de diversidad de 3 a 6 [dB] por debajo del nivel principal.

²⁵ Route Planning Guide (Nokia)

6.4 RUGOSIDAD DEL TERRENO²⁶

La rugosidad del terreno es definida como el promedio del perfil (raíz cuadrada del promedio al cuadrado de la desviación del terreno). Las elevaciones del terreno son referidas al nivel del mar tomando distancias de un kilómetro y excluyendo los puntos extremos es decir los sitios. En la ecuación 6.24 de rugosidad se toman 50 lecturas pero se puede ajustar a las necesidades del perfil; los valores de rugosidad están limitados de 6 a 42 metros (20 a 40 [ft]).

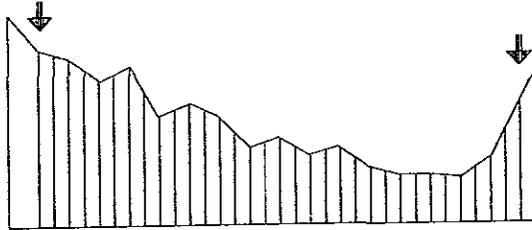


Figura 6.10 Rugosidad del terreno, referida al nivel del mar.

La rugosidad del terreno puede ser calculada con referencia al nivel del mar como se muestra en la figura 6.10.

Una disparidad significativa puede ocurrir en las rutas con una inclinación uniforme y una diferencia grande entre las elevaciones de los sitios, llegando a calcularse más de 42 metros de rugosidad. Entonces la rugosidad del terreno debe ser el valor máximo.

$$S = \left[\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 \right]^{0.5} \quad 6.24$$

$$M = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n x_i \quad 6.25$$

x = Valor de lectura sobre el nivel del mar [metros]

²⁶ Manual de Software PathLoss pag 29-30

6.5 DISPONIBILIDAD DEL ENLACE ²⁷

El desempeño en ITU-R (International Telecommunications Union Recommendation), calidad y tiempo fuera, son calculados para cualquier mes del año o para el peor mes.

El primer paso para calcular el desempeño es decir la probabilidad de que un enlace no proporcione servicio es U, nombrándola en ITU-R como tasa de segundos severamente erróneos (SESR severely-errored second ratio).

donde :

U x Período desvanecimiento, sec = Tiempo fuera de servicio, SES/año o mes

Calculando SESR con el Modelo de Vigants²⁸, siendo el período de desvanecimiento de 30 días (2.6×10^6 sec) para el peor mes en las áreas de desvanecimiento en ITU-R.

Eventos de desvanecimiento por Multitrayectoria

Los desvanecimientos en la multitrayectoria se incrementan con:

1. Frecuencia de transmisión (xF)
2. Longitud del enlace ($x D^2$ a D^4)
3. Humedad/Temperatura
4. Tranquilidad del viento
5. Niebla y condiciones atmosféricas

Siendo favorecidas con:

1. La inclinación de la trayectoria
2. Turbulencias atmosféricas
3. Rugosidad del terreno

En la siguiente ecuación se puede observar los parámetros para calcular en ITU-R el SESR con el método de Vigants

$$SESR = KQ * D^{3*f} * 10^{-CFM/10} \quad 6.26$$

donde

SESR = Taza de segundos severamente erróneos
KQ = ITU-R factor de terreno y clima

Factor de clima X (Método de Vigants ITU-R Rep. 338)

²⁷ Digital Microwave System Applications Seminar of Harris Pag 245-266

²⁸ ITU-R report 338

Región de Clima	x(ITU-R)
Temperatura marina, costa o alta humedad / temperatura	4.1×10^{-5}
Subtropical marina	3.1×10^{-5}
Temperatura continental o Continental latitud-media	2.1×10^{-5}
Montañas sumamente seco	1.0×10^{-5}

$$\text{Factor de terreno/Clima } KQ = x^{-1.3} \quad 6.27$$

donde:

- X = Factor de clima, de acuerdo a la tabla anterior
- S,w = Rugosidad del terreno, 6 - 42 metros de rango
- f = Frecuencia de transmisión [GHz]
- D = Distancia del enlace [Km]
- CFM = Márgen de desvanecimiento compuesto, ecuación 6.22

6.5.1 FACTOR DE PERFECCIONAMIENTO

6.5.1.1 DIVERSIDAD DE ESPACIO I_{SD} ²⁹

La configuración para diversidad de espacio depende de varios factores siendo éstos los mencionados a continuación.

- Objetivos del enlace
- Banda de frecuencia
- Longitud e inclinación del enlace
- Geometría de la ruta (claridad, zona de reflexión, tamaño de las antenas y su diferencia de alturas; si el enlace se encuentra en zona plana o montañosa)
- Condiciones climáticas (factor K)
- Estructura de soporte (edificio, carga y espacio de torre)
- Zona de descargas atmosféricas

Desde los 834 SES/año y 270 SES/cualquier mes se encuentran excesivamente fuera de rango los cálculos y se debe agregar una protección en la propagación en este caso la diversidad de espacio.

$$I_{SD} = 1.2 \times 10^{-3} (f/d) s^2 10^{(CFM-v/2)/10} \quad 6.28$$

$$SES_{SD} = SESR / I_{SD} \quad 6.29$$

²⁹ Route Planning Guide (Nokia)

6.5.1.2 DIVERSIDAD DE FRECUENCIA I_{FD} ³⁰

Aún cuando la diversidad de espacio está por arriba de la diversidad de frecuencia todavía se sigue utilizando en algunos casos, la principal desventaja que se tiene con la diversidad de frecuencia es la utilización de dos canales de frecuencias. Esta configuración se debe utilizar con una diferencia mayor del 5% de separación entre las frecuencias de transmisión.

Δf = separación de diversidad

La diversidad de frecuencia está dada por:

$$I_{FD} = (80 * \Delta f * 10^{CMF/10}) / (f^2 D) \quad 6.30$$

Y la tasa de segundos severamente erróneos está dada por:

$$SES_{FD} = SESR / I_{FD} \quad 6.31$$

Nota : De igual manera que la diversidad de espacio la diversidad de frecuencia se debe especificar desde el equipo de radio.

6.6 DISPONIBILIDAD EN PORCENTAJE

La disponibilidad, son los segundos severamente erróneos transferidos a porcentaje, ya que es más fácil relacionar cualquier falla en porcentaje que diciendo alguna cantidad de segundo erróneos.

Para una vía

$$SES \% = SES * 100 * 1 \text{ en \%} \quad 6.32$$

Para dos vías

$$SES \% = SES * 100 * 2 \text{ en \%} \quad 6.33$$

Definiendo SES como cualquier disponibilidad de las tres siguientes.

Disponibilidad del enlace $SESR$
Diversidad de espacio SES_{SD}
Diversidad de Frecuencia SES_{FD}

³⁰ Digital Microwave System Applications Seminar of Harris Pag 245-266

Para obtener el número de segundos por año se multiplica este valor por el número de segundos en un año. Pero se tiene que tomar en cuenta que un año para este tipo de enlace es de 3.1 meses que son los meses críticos anuales para un enlace de microondas.

Para el peor mes del año 30 días = 2.6×10^6 es decir:

$$\text{SES \%anual} = \text{SES \%} \times 2.6 \times 10^6 \times 3.1 \quad 6.34$$

$$\text{Disponibilidad} = 100 - \text{SES \%anual} \quad \text{en \%} \quad 6.35$$

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de enlace en la banda de 7 [GHz] y con diversidad de espacio, en este ejemplo no se utilizan las zonas de lluvia ya que a esta banda la lluvia no la afecta para su desempeño.

EJEMPLO 1

El enlace propuesto para este ejemplo es el de Potosí – Montemorelos, que se encuentra en la banda de 7 [GHz] teniendo una distancia de 52.73 [km]; y que se agrega en la ruta inicial entre las ciudades de San Luis Potosí y Monterrey para acortar la distancia entre los sitios de Potosí y Papagayos ya que este enlace consta de 107 [km], estando ubicados estos dos sitios en el estado de Nuevo León.

El ancho de banda se puede calcular a partir de la modulación y la velocidad de transmisión que son obtenidas de la hoja de datos del fabricante, cuyos valores son:

Modulación	:	128 QAM
Velocidad de transmisión	:	155.52 [Mb/s]
Ancho de Banda	:	28 [MHz]

El umbral de recepción cuya tasa es 10^{-6} , que se obtiene de la hoja de datos del fabricante.

$$C/N = 32 \text{ dB para } 10^{-6}$$

Para encontrar el umbral de recepción se utiliza la ecuación 6.19a y el ancho de banda obtenido para este ejemplo, así como el valor de la figura de ruido de 3.2 que se obtiene de la hoja de datos del fabricante, y que se calcula como sigue:

$$P_{\text{umb}} [\text{dB}] = -113.8 [\text{dBm}] + 10 \log 28 [\text{MHz}] + 3.2 [\text{dB}]$$
$$P_{\text{umb}} [\text{dB}] = -96.13 \quad \text{para } 27 [^{\circ}\text{C}]$$

$$\text{Thr} = \text{threshold} = C/N + P_{\text{umb}}$$

$$\text{Thr} = 32 - 96.13 = -64.13 \text{ tendiendo a } -64 [\text{dBm}]$$

Atenuaciones y ganancias

- La atenuación por gases atmosféricos se obtiene a partir de la figura 6.8 y para una frecuencia en la banda de 7 [GHz] que será la requerida para este enlace; $0.21 [\text{dB/km}] * 52.73 [\text{km}] = 11.073 [\text{dB}]$
- La atenuación por lluvia no se toma en cuenta por que es un enlace menor a 10 [GHz]
- Para la atenuación por espacio libre se utilizan la ecuación 6.15, banda de frecuencia de transmisión y la distancia del enlace.

$$A_{\text{tGB}} = 92.4 + 20 \log (7) + 20 \log (52.73) = 143.74 [\text{dBm}]$$

El nivel de recepción se convierte de gran importancia cuando se quiere calcular el margen de desvanecimiento, calculando el nivel de recepción con la ecuación 6.17 y los datos de potencia de transmisión que se obtiene de la hoja de datos, ganancias de antenas que se propone en este momento y se obtiene el dato de la hoja del fabricante (46.7 [dBi]), pérdidas de las líneas de transmisión a utilizar, obteniendo este dato del catalogo del fabricante (1.92 [dB]).

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{atx} - AT - A_g - A_{FL} - A_{FL} + G_{Arx}$$

$$P_{rx} = 27.3 + 46.7 - 143.74 - 11.073 - 1.92 - 1.92 + 46.7 = -37.95 \text{ [dBm]}$$

Donde AFL = Atenuación en línea de transmisión

El margen de desvanecimiento, se obtiene a partir de los valores obtenidos para este ejemplo del umbral y nivel de recepción y utilizando la ecuación 6.21 se obtiene:

$$FM = P_{rx} - Thr = -37.95 - (-64.13) = 26.18 \text{ [dBm]}$$

El margen de desvanecimiento compuesto que es un calculo requerido únicamente para los enlaces digitales, se calcula partiendo del DFM que se obtiene de la hoja de datos del fabricante (46.5 [dB]), además utilizando el FM y la ecuación 6.22.

$$CMF = -10 \log_{10} (10^{-26.18/10} + 10^{-46.5/10}) = 26.14 \text{ [dBm]}$$

La rugosidad del terreno puede ser calculada a partir de las ecuaciones 6.24 y 6.25

$$S = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 \right]^{0.5}$$

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

x = Valor de lectura sobre el nivel del mar [metros]

Como el valor obtenido de rugosidad es mayor que 42, se utilizará 42 [m] de rugosidad

Los Segundos Severamente Erróneos se calculan utilizando la ecuación 6.26

$$SESR = KQ \cdot D^3 \cdot f \cdot 10^{-CFM/10}$$

donde:

KQ = ITU-R factor de terreno y clima

$$\text{Factor de terreno/Clima } KQ = x S^{-1.3} = 1 \times 10^{-6} \times 42^{-1.3} = 7.758 \times 10^{-8}$$

$$\begin{aligned} S &= 42 \\ F &= 7 \text{ [GHz]} \\ D &= 52.73 \text{ [km]} \\ CFM &= 26.14 \text{ [dBm]} \end{aligned}$$

$$\text{SESR} = (7.758 \times 10^{-8}) (52.73)^3 (7) 10^{-26.14 / 10} = 193.65 \times 10^{-6}$$

La disponibilidad en porcentaje se puede obtener para este ejemplo en una vía utilizando la ecuación la ecuación 6.32

Para una vía

$$\text{SES \%} = 193.65 \times 10^{-6} \times 100 \times 1 = 0.0194$$

$$\text{SES \%anual} = 0.0194\% \times 2.6 \times 10^6 \times 3.1 = 156364$$

Finalmente se obtiene la disponibilidad del enlace con la ecuación 6.35

$$\text{Disponibilidad} = 100 - (0.0194) \%_{\text{anual}} = 99.981 \%$$

Si la disponibilidad del enlace no es la adecuada se puede agregar un factor de perfeccionamiento, utilizando para este ejemplo la diversidad de espacio con las ecuaciones 6.28 y 6.29

$$I_{SD} = 1.2 \times 10^{-3} (7/52.73) 12^2 10^{(37.95 - 0/2)/10} = 143.08$$

$$\text{SES}_{SD} = \text{SESR} / I_{SD} = 1.353 \times 10^{-6}$$

Calculando nuevamente la disponibilidad en porcentaje ahora con diversidad de espacio

Para una vía

$$\text{SES \%} = 1.353 \times 10^{-6} \times 100 \times 1 = 0.0001353$$

$$\text{SES \%anual} = 0.0001353\% \times 2.6 \times 10^6 \times 3.1 = 1090.52$$

$$\text{Disponibilidad} = 100 - (0.0001353) \%_{\text{anual}} = 99.9998 \%$$

Hoja de cálculo del enlace Potosí - Montemorelos

	Sitio A	Sitio B
Datos del Enlace		
Nombre	Potosí	Montemorelos
Coordenadas		
Latitud	24°52'22"	25°8'11"
Longitud	100°14'0"	99°47'54"
Longitud de enlace [km]	52.72	
Altura Sobre el Nivel del Mar [m]	490	490
Altura de torre [m]	40	40
Azimut [°]	56.29°	236.47°
Datos de Equipo		
Potencia de transmisión [dBm]	27.3	
Banda de Transmisión [MHz]	7.43	
Separación Tx/Rx [MHz]		
Frecuencia de Transmisión [MHz]	-	-
Umbral de Recepción [dBm]	-64	
DFM [dBm]	46.5	
Figura de Ruido [dB]	3.2	
Velocidad de Transmisión [Mb/s]	155.52	
Ancho de Banda [MHz]	28	
Líneas de Transmisión Principal		
Tipo	Elíptica	Elíptica
Pérdidas [dB/100m]	4.8	4.8
Longitud de Línea de transmisión [m]	40	40
Pérdidas adicionales	0.5	0.5
Líneas de Transmisión de Diversidad		
Tipo	Elíptica	Elíptica
Pérdidas [dB/100m]	4.8	4.8
Longitud de Línea de transmisión	30	30
Pérdidas adicionales	-	-
Antenas		
Principal /Altura sobre torre [m]	30	30
Principal /tipo	Estándar	Estándar
Principal /Diámetro [m]/Ganancia [dBi]	3.7/46.7	3.7/46.7
Diversidad /Altura sobre torre [m]	20	20
Diversidad /tipo	Estándar	Estándar
Diversidad /Diámetro [m]/Ganancia [dBi]	3/44.7	3/44.7
Cálculos		
Potencia Isotrópica Radiada Aparente [dBm]	74	
Pérdidas en espacio libre [dBm]	143.74	
Potencia de recepción [dBm]	-37.95	
Desvanecimiento		
Márgen de Desvanecimiento [dBm]	26.17	
Márgen de Desvanecimiento Compuesto [dBm]	26.14	
Disponibilidad		
Sin diversidad de espacio % una vía	99.981	
Con diversidad de espacio % una vía	99.9998	

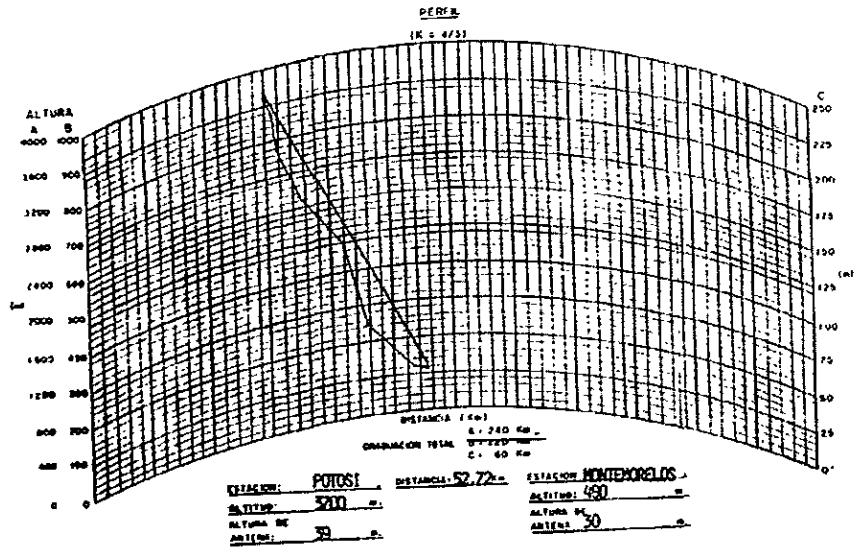


Figura 6.13 Perfil del enlace El Potosi – Montemorelos

EJEMPLO 2

El enlace propuesto para este ejemplo es el CMX005-CMX007, que se encuentra en la banda de 15 [GHz] teniendo una distancia de 7.89 [km], polarización vertical; que se encuentra en la red local de la ciudad de México.

El ancho de banda se puede calcular a partir de la modulación y la velocidad de transmisión que son obtenidas de la hoja de datos del fabricante, cuyos valores son:

Modulación : 4 FSK
Velocidad de transmisión: 16x2 [Mb/s]

Ahora bien de la ecuación 6.2 podemos obtener la cantidad de bits de información que contiene el nivel de modulación.

$$n = \log_2 M = \log_2 4 = 2$$

Ya obtenida el valor de bits de información dependiendo de la modulación se obtiene la cantidad de los símbolos independientes, y poder obtener así el ancho de banda de transmisión del equipo.

$$f_s = VT/n = 34.368/2 = 17.184$$

$$B = f_s/2 = 17.184/2 = 8.592 \quad \text{donde}$$
$$B = 8.592 \text{ [MHz]}$$

El umbral de recepción cuya tasa es de 10^{-6} , que se obtiene de la hoja de datos del fabricante

$$C/N^4 = 23.1 \text{ dB para } 10^{-6}$$

Para encontrar el umbral de recepción se utiliza la ecuación 6.19a y el ancho de banda obtenido para este ejemplo, así como el valor de la figura de ruido de 7, que se obtiene de la hoja de datos del fabricante, y que se calcula como sigue:

$$P_{\text{umb}} \text{ [dB]} = -113.8 \text{ [dBm]} + 10 \log 8.592 \text{ [MHz]} + 7 \text{ [dB]}$$
$$P_{\text{umb}} \text{ [dB]} = -97.46 \quad \text{para } 27 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\text{Thr} = \text{threshold} = C/N^4 + P_{\text{umb}}$$
$$\text{Thr} = 23.1 - 97.46 = -74.36 \text{ tendiendo a } -74.5 \text{ [dBm]}$$

Atenuaciones y ganancias

- La atenuación por gases atmosféricos se obtiene a partir de la figura 6.5 y para una frecuencia en la banda de 15 [GHz] que será la requerida para este enlace; $0.015 \text{ [dB/km]} * 7.89 \text{ [km]} = 0.11835$

- La atenuación por lluvia se calcula partiendo de las ecuaciones 6.10a y 6.10d que son para frecuencias menores de 54 [GHz] y mayores de 8.5 [GHz]

$$a = 4.2 \times 10^{-5} (15)^{2.42} = 0.0295$$

$$b = 1.41 (15)^{-0.0779} = 1.1418$$

La tasa de lluvia R [mm/h] se obtiene de la tabla 6.2 para la región centro del país

R = 84.5 de región central del país

Y aproximando la atenuación mediante la ecuación 6.9

$$\alpha = a \cdot R^b = 0.0295 \times 84.5^{1.1418} = 4.6763$$

Calculando mediante la ecuación 6.12 el factor de reducción para la distancia efectiva

$$r = 90 / (90 + 4 \cdot D) = 90 / (90 + 4(7.89)) = 0.74$$

Obteniendo la atenuación efectiva por exceso de lluvia mediante la ecuación 6.13

$$A_{LL} = \alpha \cdot r \cdot D = 0.74 \times 7.89 \times 4.6763 = 27.3$$

Para la atenuación por espacio libre se utilizan la ecuación 6.15, banda de frecuencia de transmisión y la distancia del enlace.

$$A_{dB} = 92.45 + 10 \log(15) + 20 \log(7.89) = 122.15 \text{ [dBm]}$$

El nivel de recepción se convierte de gran importancia cuando se quiere calcular el margen de desvanecimiento, calculando el nivel de recepción con la ecuación 6.17 y el dato de potencia de transmisión que se obtiene de la hoja de datos, ganancias de antenas que se propone en este momento y se obtiene el dato de la hoja del fabricante (46.1 [dBi]), pérdidas de las líneas de transmisión a utilizar, obteniendo este dato del catalogo del fabricante (0 [dB]) y con atenuación efectiva por exceso de lluvia obtenido para este ejemplo.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{atx} - AT - A_g - A_{LL} + G_{Arx}$$

$$P_{rx} = 27.2 + 46.1 - 122.15 - 0.1183 - 27.3 + 46.1 = -30.138 \text{ [dBm]}$$

El margen de desvanecimiento, se obtiene a partir de los valores obtenidos para este ejemplo del umbral y nivel de recepción y utilizando la ecuación 6.21 se obtiene:

$$FM = P_{rx} - Thr = -30.138 - (-74.5) = 44.362 \text{ [dBm]}$$

El margen de desvanecimiento compuesto que es un calculo requerido únicamente para los enlaces digitales, se calcula partiendo del DFM que se obtiene de la hoja de datos del fabricante(40.4 [dB]), además utilizando el FM y la ecuación 6.22.

$$CMF = -10 \log_{10} (10^{-(44.362/10)} + 10^{-(40.4/10)}) = 38.934 \text{ [dBm]}$$

La rugosidad del terreno puede ser calculada a partir de las ecuaciones 6.24 y 6.25

$$S = [(1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2]^{0.5}$$

$$M = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i$$

x = Valor de lectura sobre el nivel del mar [metros]

Como el valor obtenido de rugosidad es menor que 6 se utilizara 6 [m] de rugosidad

Los Segundos Severamente Erróneos se calculan utilizando la ecuación 6.26

$$SESR = KQ \cdot D^3 \cdot f \cdot 10^{-CFM/10}$$

Donde

KQ = ITU-R factor de terreno y clima

$$\text{Factor de terreno/Clima } K.Q = x S^{-1.3} = 2.1 \times 10^{-5} \times 6^{-1.3} = 2.045 \times 10^{-6}$$

S = 6

F = 15 [GHz]

D = 7.89 [km]

CFM = 38.934 [dBm]

$$SESR = (2.045 \times 10^{-6}) (7.89)^3 (15) 10^{-38.934/10} = 1.926 \times 10^{-6}$$

La disponibilidad en porcentaje se puede obtener para este ejemplo se obtiene en una vía utilizando la ecuación la ecuación 6.32

Para una vía

$$SES \% = 1.926 \times 10^{-6} \times 100 \times 1 = 0.000192$$

$$SES \%_{\text{anual}} = 0.000192\% \times 2.6 \times 10^6 \times 3.1 = 1552.2$$

Finalmente se obtiene la disponibilidad del enlace con la ecuación 6.35

$$\text{Disponibilidad} = 100 - (0.000192) \%_{\text{anual}} = 99.9998 \%$$

Hoja de cálculo del enlace CMX005-CMX007

	Sitio A	Sitio B
Datos del Enlace		
Nombre	CMX005	CMX017
Coordenadas		
Latitud	19°19'38"	19°17'13"
Longitud	99°7'25"	99°3'42"
Longitud de enlace [km]	7.89	
Altura Sobre el Nivel del Mar [m]	2222	2224
Altura de torre [m]	30	30
Azimut [°]	124.39°	304.41°
Datos de Equipo		
Potencia de transmisión [dBm]	27.2	
Banda de Transmisión [MHz]	15	
Separación Tx/Rx [MHz]	1232	
Frecuencia de Transmisión [MHz]	-	-
Umbral de Recepción [dBm]	-74.5	
DFM [dBm]	404	
Figura de Ruido [dB]	7	
Velocidad de Transmisión [Mb/s]	34.368	
Ancho de Banda [MHz]	28	
Líneas de Transmisión Principal		
Tipo	-	-
Pérdidas [dB/100m]	-	-
Longitud de Línea de transmisión [m]	-	-
Pérdidas adicionales	-	-
Líneas de Transmisión de Diversidad		
Tipo	-	-
Pérdidas [dB/100m]	-	-
Longitud de Línea de transmisión	-	-
Pérdidas adicionales	-	-
Antenas		
Principal /Altura sobre torre [m]	25	25
Principal /tipo	Estándar	Estándar
Principal /Diámetro [m]/Ganancia [dBi]	1.8/46.1	1.8/46.1
Diversidad /Altura sobre torre [m]	-	-
Diversidad /tipo	-	-
Diversidad /Diámetro [m]/Ganancia [dBi]	-	-
Cálculos		
Potencia isotrópica Radiada Aparente [dBm]	73.3	
Pérdidas en espacio libre [dBm]	122.15	
Potencia de recepción [dBm]	-30.138	
Desvanecimiento		
Márgen de Desvanecimiento [dBm]	44.312	
Márgen de Desvanecimiento Compuesto [dBm]	38.934	
Disponibilidad		
Sin diversidad de espacio % una vía	99.9998	
Con diversidad de espacio % una vía	-	

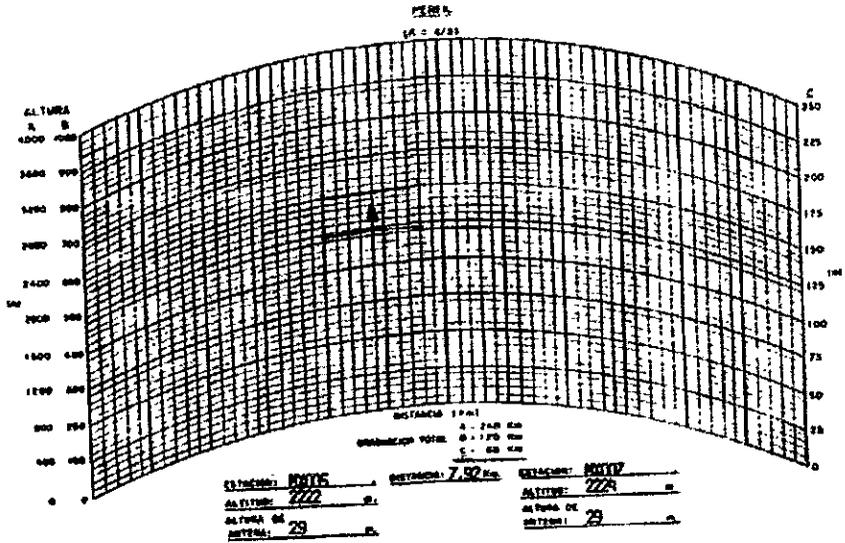


Figura 6.14 Perfil del enlace CMX005-CMX007

EJEMPLO 3

El enlace propuesto para este ejemplo es el CMX076-CMX077, que se encuentra en la banda de 23 [GHz] teniendo una distancia de 2.61 [km], polarización vertical; que se encuentra en la red local de la ciudad de México.

El ancho de banda se puede calcular a partir de la modulación y la velocidad de transmisión que son obtenidas de la hoja de datos del fabricante, cuyos valores son:

Modulación : 4 FSK
Velocidad de transmisión : 16×2 [Mb/s]

Ahora bien de la ecuación 6.2 podemos obtener la cantidad de bits de información que contiene el nivel de modulación.

$$n = \log_2 M = \log_2 4 = 2$$

Ya obtenida el valor de bits de información dependiendo de la modulación se obtiene la cantidad de los símbolos independientes, y para obtener así el ancho de banda de transmisión del equipo.

$$f_s = \sqrt{T/n} = 34.368/2 = 17.184$$

$$B = f_s/2 = 17.184/2 = 8.592 \quad \text{donde}$$
$$B = 8.592 \text{ [MHz]}$$

El umbral de recepción cuya tasa es de 10^{-6} que se obtiene de la hoja de datos del fabricante

$$C/N^4 = 23.1 \text{ dB para } 10^{-6}$$

Para encontrar el umbral de recepción se utiliza la ecuación 6.19a y el ancho de banda obtenido para este ejemplo, así como el valor de la figura de ruido de 7, que se obtiene de la hoja de datos del fabricante, y que se calcula como sigue:

$$P_{\text{umb}} [\text{dB}] = -113.8 [\text{dBm}] + 10 \log 8.592 [\text{MHz}] + 7 [\text{dB}]$$
$$P_{\text{umb}} [\text{dB}] = -97.46 \quad \text{para } 27 [^\circ\text{C}]$$

$$\text{Thr} = \text{threshold} = C/N^4 + P_{\text{umb}}$$
$$\text{Thr} = 23.1 - 97.46 = -74.36 \text{ tendiendo a } -74.5 [\text{dBm}]$$

Atenuaciones y ganancias

- La atenuación por gases atmosféricos se obtiene a partir de la figura 6.5 y para una frecuencia en la banda de 23 [GHz] que será la requerida para este enlace; $0.105 \text{ [dB/km]} \cdot 2.61 \text{ [km]} = 0.274$
- La atenuación por lluvia se calcula partiendo de las ecuaciones 6.10a y 6.10d que son para frecuencias menores de 54 [GHz] y mayores de 8.5 [GHz]

$$a = 4.2 \times 10^{-5} (23)^{2.42} = 0.0829$$

$$b = 1.41 (23) - 0.0779 = 1.1044$$

La tasa de lluvia R [mm/h] se obtiene de la tabla 6.2 para la región centro del país

$$R = 84.5 \text{ de región central del país}$$

Y aproximando la atenuación mediante la ecuación 6.9

$$\alpha = a \cdot R^b = 0.0829 \times 84.5^{1.1044} = 11.132$$

Calculando mediante la ecuación 6.12 el factor de reducción para la distancia efectiva

$$r = 90 / (90 + 4 \cdot D) = 90 / (90 + 4(2.61)) = 0.896$$

Obteniendo la atenuación efectiva por exceso de lluvia mediante la ecuación 6.13

$$A_{LL} = \alpha \cdot r \cdot D = 11.132 \times 0.896 \times 2.61 = 26.03$$

Para la atenuación por espacio libre se utilizan la ecuación 6.15, banda de frecuencia de transmisión y la distancia del enlace.

$$A_{t_{dB}} = 92.45 + 10 \log(23) + 20 \log(2.61) = 114.4 \text{ [dBm]}$$

El nivel de recepción se convierte de gran importancia cuando se quiere calcular el margen de desvanecimiento, calculando el nivel de recepción con la ecuación 6.17 y el dato de potencia de transmisión que se obtiene de la hoja de datos, ganancias de antenas que se propone en este momento y se obtiene el dato de la hoja del fabricante (40.5 [dBi]), pérdidas de las líneas de transmisión a utilizar, obteniendo este dato del catalogo del fabricante (0 [dB]) y con atenuación efectiva por exceso de lluvia obtenido para este ejemplo.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{atx} - AT - A_g - A_{LL} + G_{Arx}$$

$$P_{rx} = 17.2 + 40.5 - 114.4 - 0.274 - 26.03 + 40.5 = -42.534 \text{ [dBm]}$$

El margen de desvanecimiento, se obtiene a partir de los valores obtenidos para este ejemplo del umbral y nivel de recepción y utilizando la ecuación 6.21 se obtiene:

$$FM = P_{rx} - Thr = -42.534 - (-74.5) = 31.966 \text{ [dBm]}$$

El margen de desvanecimiento compuesto que es un calculo requerido únicamente para los enlaces digitales, se calcula partiendo del DFM que se obtiene de la hoja de datos del fabricante (40.4 [dB]), además utilizando el FM y la ecuación 6.22.

$$CMF = -10 \log_{10} (10^{-(31.966/10)} + 10^{-(40.4/10)}) = 31.38 \text{ [dBm]}$$

La rugosidad del terreno puede ser calculada a partir de las ecuaciones 6.24 y 6.25

$$S = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 \right]^{0.5}$$

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

x = Valor de lectura sobre el nivel del mar [metros]

Como el valor obtenido de rugosidad es mayor que 42 se utilizara 42 [m] de rugosidad

Los Segundos Severamente Erróneos se calculan utilizando la ecuación 6.26

$$SESR = KQ \cdot D^3 \cdot f \cdot 10^{-CFM/10}$$

donde:

KQ = ITU-R factor de terreno y clima

Factor de terreno/Clima

$$KQ = x \cdot S^{-1.3} = 2.1 \times 10^{-5} \times 42^{-1.3} = 1.629 \times 10^{-7}$$

S = 42

F = 23 [GHz]

D = 2.61 [km]

CFM = 31.38 [dBm]

$$SESR = (1.629 \times 10^{-7}) (2.61)^3 (23) 10^{-31.38/10} = 4.848 \times 10^{-8}$$

La disponibilidad en porcentaje se puede obtener para este ejemplo se obtiene en una vía utilizando la ecuación la ecuación 6.32

Para una vía

$$\text{SES \%} = 4.848 \times 10^{-8} \times 100 \times 1 = 0.000004848$$

$$\text{SES \%anual} = 0.000004848\% \times 2.6 \times 10^6 \times 3.1 = 39$$

Finalmente se obtiene la disponibilidad del enlace con la ecuación 6.35

$$\text{Disponibilidad} = 100 - (0.000004848) \%_{\text{anual}} = 99.999995 \%$$

Hoja de cálculo del enlace CMX076-CMX077

	Sitio A	Sitio B
Datos del Enlace		
Nombre	CMX076	CMX077
Coordenadas		
Latitud	19°27'31"	19°17'13"
Longitud	99°14'51"	99°13'23" <
Longitud de enlace [km]	2.61	
Altura Sobre el Nivel del Mar [m]	2300	2290
Altura de torre [m]	30	30
Azimut [°]	100.18	280.19
Datos de Equipo		
Potencia de transmisión [dBm]	17.2	
Banda de Transmisión [MHz]	23	
Separación Tx/Rx [MHz]	1232	
Frecuencia de Transmisión [MHz]	-	-
Umbral de Recepción [dBm]	-74.5	
DFM [dBm]	40.4	
Figura de Ruido [dB]	7	
Velocidad de Transmisión [Mb/s]	34.368	
Ancho de Banda [MHz]	28	
Líneas de Transmisión Principal		
Tipo	-	-
Pérdidas [dB/100m]	-	-
Longitud de Línea de transmisión [m]	-	-
Pérdidas adicionales	-	-
Líneas de Transmisión de Diversidad		
Tipo	-	-
Pérdidas [dB/100m]	-	-
Longitud de Línea de transmisión	-	-
Pérdidas adicionales	-	-
Antenas		
Principal /Altura sobre torre [m]	28	29
Principal /tipo	Estándar	Estándar
Principal /Diámetro [m]/Ganancia [dBi]	0.6/40.5	0.6/40.5
Diversidad /Altura sobre torre [m]	-	-
Diversidad /tipo	-	-
Diversidad /Diámetro [m]/Ganancia [dBi]	-	-
Cálculos		
Potencia Isotrópica Radiada Aparente [dBm]	57.7	
Pérdidas en espacio libre [dBm]	114.4	
Potencia de recepción [dBm]	-42.534	
Desvanecimiento		
Márgen de Desvanecimiento [dBm]	31.966	
Márgen de Desvanecimiento Compuesto [dBm]	31.38	
Disponibilidad		
Sin diversidad de espacio % una vía	99.999995	
Con diversidad de espacio % una vía	-	

7. PLANTEAMIENTO DE LA RED EN INTEGRACION LOCAL

Como se mencionó anteriormente, los principales objetivos a seguir en el planteamiento de la red local, serán tener una red con enrutamientos alternos de comunicación y con facilidad de expansión a futuro, teniendo que tomar en cuenta que las modificaciones o planteamientos nuevos deben perseguir una alta confiabilidad, calidad, capacidad y un bajo costo.

Para poder obtener confiabilidad en una red, ésta debe contar con rutas alternas como respaldo ante la presencia de fallas en las rutas directas de las líneas de transmisión, y una organización geográfica de nodos, donde deberán establecerse estas rutas alternas y su enrutamiento en forma automática.

Los parámetros de calidad y capacidad están basados en una buena selección de equipo para el sistema de telecomunicaciones, ya que el cumplimiento de este equipo en cuanto a normas de control de calidad en la fabricación, adaptabilidad a las necesidades de la red y la aplicación de la normatividad establecida para las telecomunicaciones, nos reflejarán un sistema de comunicación confiable y eficiente. Se debe tomar en cuenta que el sistema limita a una capacidad de operación, determinada por el análisis de tráfico y frecuencia de operación del equipo.

Un sistema de telecomunicaciones puede considerarse como el conjunto de dispositivos físicos para suministrar el servicio de comunicación, es necesario que el sistema contenga los medios y recursos adecuados para conectar y desconectar los equipos, al inicio y al término de la comunicación para proporcionar adecuadamente dicho servicio.

La estructura básica de la red puede optimizarse con la implantación de rutas alternas directas entre centros de conmutación, que por su alto interés de comunicación lo ameriten.

El principio de enrutamiento alternativo automático hace uso de estas rutas directas para cursar por ellas en forma prioritaria el tráfico. En otras palabras, con la técnica del enrutamiento automático, se dispone de varias posibilidades de rutas elegibles para establecer una comunicación, de las cuales el equipo selecciona la más corta. Así, con este principio, si la comunicación encuentra algún circuito con falla en la primera ruta, se ofrecerá en forma consecutiva una ruta alterna previamente establecida.

7.1 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS

Como se mencionó en el capítulo 3, la red de transmisión actual se encuentra operando en las bandas de 15 y 23 GHz, es conveniente continuar con las mismas frecuencias ya que se tiene una infraestructura previa para soportar la red además de las concesiones en estas frecuencias.

La disponibilidad de los radioenlaces de microondas establecida para este trabajo es de 99.999 %, debido a:

- Que la naturaleza del sistema Trunking digital requiere una alta disponibilidad de transmisión.
- Cumplir con la última recomendación de ITU(International Telecommunication Union) para radioenlaces de microondas que es del 99.995%.
- Mantener la calidad requerida por el mercado en los sistemas digitales.

La disponibilidad propuesta para la red Trunking digital en este trabajo es del 95%, resultado del siguiente análisis:

La red Trunking digital por cobertura en el área metropolitana debe crecer de 99 a 110 sitios de manera inmediata debido al crecimiento demográfico, por lo cual se considerará como red Trunking digital a los 110 sitios.

Tomando el 95% de los 110 sitios da como resultado que se pueden tener 6 sitios como máximo sin servicio, considerando que en cada brazo de la red (*en estrella*) no deberán existir más de 16 sitios debido a la capacidad del equipo de microondas en las frecuencias de transmisión antes mencionadas, ya que son de 16 E1's (una por sitio Trunking).

Considerando como el peor de los casos la falla de uno de los radioenlaces de microondas que de él dependan 16 sitios Trunking, y tomando en cuenta que el máximo de sitios sin servicio es de 6, da como resultado que se deben respaldar con rutas alternas a 10 sitios, lo anterior para conservar el 95% de disponibilidad arriba citada.

7.2 OPTIMIZACIÓN DE LA RED LOCAL

7.2.1 CENTRO DE CONMUTACIÓN

Dentro de los 110 sitios existentes el sitio CMX017 esta definido como el centro de conmutación, que está ubicado en una posición estratégica enmarcada por la cercanía de la central pública telefónica en Iztapalapa (Central Estrella), es importante mencionar que en el centro de conmutación se efectúa el enlace físico por medio de fibra óptica con dicha central que ofrece el servicio de acceso a la red pública local, nacional e internacional. Cada una de las ramificaciones de la red en estrella parten de este punto CMX017, asimismo el centro de conmutación tiene como una de sus

7.2.2 CONFIGURACIÓN DE LA RED EN ESTRELLA

Como se aprecia en la figura 7.1, la red local existente en el área metropolitana tiene una configuración en estrella, siendo en este caso la forma óptima de tener comunicación de un extremo a otro basada en enlaces establecidos por las distancias más cortas en línea recta. Como se observa en la figura 7.1, toda la red nace a partir de un solo punto que está señalado como punto CMX017 y se refiere al centro de conmutación.

7.2.3 CRECIMIENTO DE LA RED EN ESTRELLA

En el caso de la red local para el área metropolitana se tiene la necesidad de ofrecer servicio de radiocomunicación en el norte de la ciudad, comprendiendo los municipios de Ecatepec, Coacalco, Cuautitlán entre otros, para lo cual se tendrán que agregar nuevos sitios como se observa en la figura 7.2, los datos técnicos y geográficos de los nuevos sitios se observan en la tabla 7.1. Cabe mencionar que la altura de las torres es resultado del estudio de línea de vista entre los sitios propuestos³¹.

Nombre Sitio	LAT N			LON W			ASNM [m]	Torre [m]			Construcción [m]	
	°	'	"	°	'	"		Auto	Arr	Mon		Mástil
CMX100	19	32	5	99	12	10	2255	36				0
CMX101	19	35	15	99	12	47	2405	36				0
CMX102	19	37	58	99	8	3	2248	30				0
CMX103	19	40	24	99	11	7	2249	30				0
CMX104	19	37	51	99	4	38	2247	36				0
CMX105	19	42	17	99	7	30	2325	38				0
CMX106	19	36	43	99	1	0	2218	36				0
CMX107	19	38	23	99	0	0	2273	30				0
CMX108	19	30	0	99	2	55	2212	30				0
CMX109	19	32	54	99	1	25	2217	36				0
CMX110	19	35	29	99	6	55	2900	70				0

Tabla 7.1 Ubicación de sitios de red local en la parte norte del área metropolitana

Auto.- Autosoportada

Arr.- Arriestrada

Mon.- Monopolo

³¹ Ver Capítulo 6.3.3.2

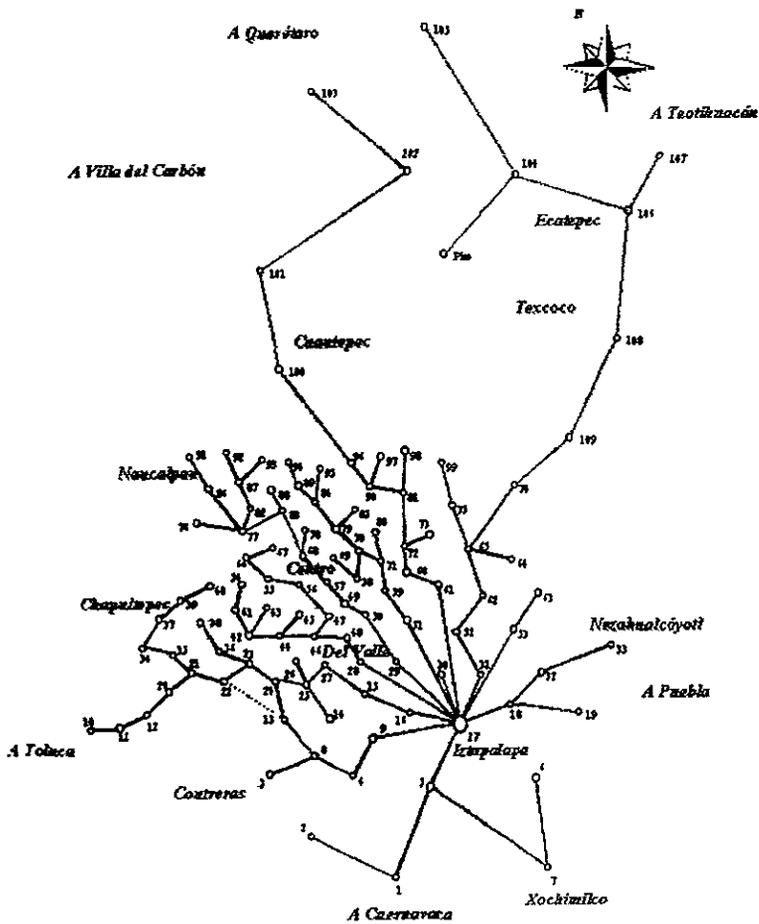


Figura 7.2 Red local con servicio en la parte norte del área metropolitana

Par- bda	Enlace		Distanc- ia [km]	Sitio 1			Sitio 2				Frecuen- cia [GHz]	Disponi- bilidad %	
	Sitio 1	Sitio 2		Azimut °	Antena		Tipo	Azimut °	Antena				Tipo
					D/G [m/dB]	Altura [m]			Altura [m]	D/G [m/dB]			
1	CMX 096	CMX 100	6.51	322.13	2.4/48.6	29	SP	142.11	30	2.4/48.6	SP	15	99.99954
2	CMX 100	CMX 101	5.94	58.79	2.4/48.6	30	SP	169.54	30	2.4/48.6	SP	15	99.99968
3	CMX 101	CMX 102	9.68	58.79	3/50.5	36	SP	238.81	30	3/50.5	SP	15	99.99943
4	CMX 102	CMX 103	6.99	309.95	1.8/46.1	27	SP	129.94	27	1.8/46.1	SP	15	99.99959
5	CMX 104	CMX 105	9.62	328.22	3/50.5	24	SP	148.21	24	3/50.5	SP	15	99.99944
6	CMX 104	CMX 106	6.63	108.37	1.8/46.1	37	SP	288.39	35	1.8/46.1	SP	15	99.99966
7	CMX 106	CMX 107	3.54	29.62	1.8/49.7	20	SP	209.62	25	1.8/49.7	SP	23	99.99966
8	CMX 106	CMX 108	7.08	185.91	1.8/46.1	32	SP	5.91	32	1.8/46.1	SP	15	99.99957
9	CMX 109	CMX 108	5.96	206.13	1.8/46.1	30	SP	26.12	30	1.8/46.1	SP	15	99.99947
10	CMX 109	CMX 074	4.05	230.39	1.2/42.5	30	SP	50.38	30	1.2/42.5	SP	15	99.99986
11	CMX 104	BB001	5.96	222.66	1.8/46.1	24	SP	42.84	35	1.8/46.1	SP	15	99.99947

CMX Clave para la Cd de México
SP Antenas de potencia Estándar
HS Hot-Standby

Tabla 7.2 Cálculos de enlaces de red local en parte norte del área metropolitana

En la tabla 7.2 se muestra el cálculo de los enlaces propuestos para cerrar los anillos de la red local, para la obtención de rutas alternas en caso de falla.

7.2.4 ANILLOS

7.2.4.1 CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE ANILLOS

- Se deberá seleccionar una rama de la estrella aleatoriamente
- Se establecerá el primer punto de intersección verificando que no existan más de 6 sitios dependientes entre dos intersecciones o una intersección y el centro de conmutación
- Con el mismo criterio se establecerá el segundo punto de intersección en la rama paralela al primer punto
- Se verificará la línea de vista y la distancia existentes entre las dos intersecciones
 - En caso de existir, se establecerá un enlace para cerrar el anillo,
 - Si no se dan las condiciones descritas anteriormente entre las dos intersecciones propuestas
 - Se deberá localizar el punto de intersección en el sitio inmediato anterior de la ramificación, dando prioridad a los sitios ubicados en la rama principal sobre las ramificaciones secundarias.

Como ejemplo, en la figura 7.3, el anillo formado por los sitios CMX017, CMX031, CMX052, CMX062, CMX065, CMX073, CMX072, CMX060, CMX061 y CMX017, donde se observa que el anillo se cierra a través de una ramificación secundaria (enlace CMX073 – CMX065).

Cabe mencionar que los enlaces entre los sitios CMX008 – CMX002, CMX001 – CMX007, CMX006 – CMX019 y el CMX019 – CMX033 no tienen puntos de intersección, pero para la optimización y respaldo de esas zonas, son establecidos a criterio del diseñador para el cierre de anillos, respetando los parámetros ya descritos.

Una vez planteados los enlaces que conformarán a la red en forma radial se observa que:

Existen enlaces que duplican la conexión entre sitios, motivo por el cual no se toman en cuenta para el análisis y formación de anillos; como ejemplos tenemos los enlaces CMX071 – CMX080, CMX018 – CMX019 y CMX005 – CMX007.

7.2.4.2 INTEGRACIÓN DE ANILLOS

En la figura 7.3 se observan los enlaces propuestos para formar los anillos en la red, el planteamiento de estos enlaces se determinaron con el criterio de no tener más de 6 sitios sin servicio, por tal motivo no más del mismo número de sitios deberán depender de un enlace; la creación de anillos es con la finalidad de crear rutas alternas para evitar que los sitios Trunking pierdan la comunicación con el centro de conmutación.

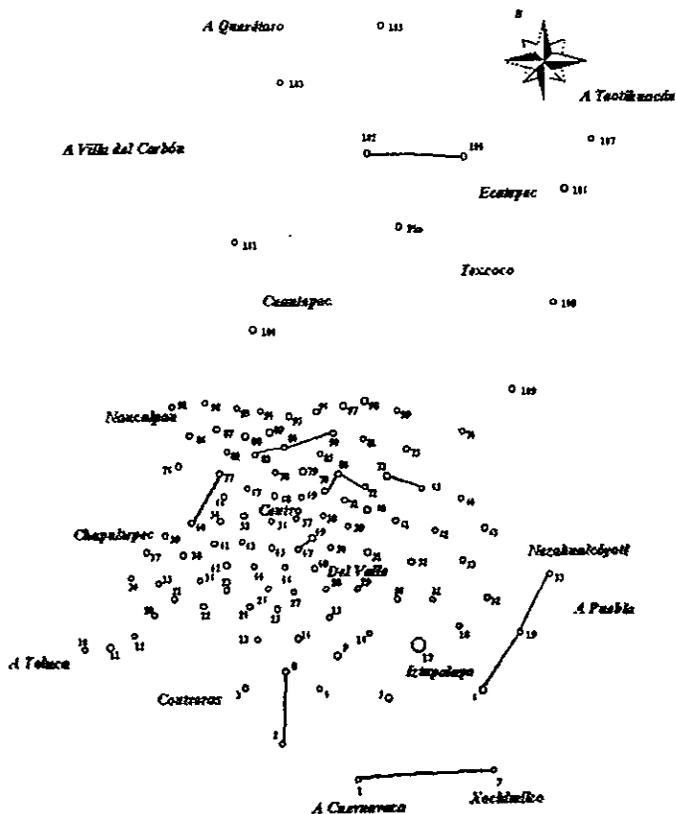


Figura 7.3 Enlaces propuestos para la formación de anillos en la red local

A continuación se presentan en la tabla 7.3 los cálculos de los enlaces propuestos para conformar los anillos.

Par Tida	Enlace		Distancia [km]	Sitio 1				Sitio 2				Frecuencia [GHz]	Disponibilidad %
	Sitio 1	Sitio 2		Azimut °	Antena		Tipo	Azimut °	Antena		Tipo		
					D/G [m/dB]	Altura [m]			Altura [m]	D/G [m/dB]			
1	CMX 008	CMX 002	4.44	183.77	1.2/42.5	28	SP	3.77	27	1.2/42.5	SP	15	99.99968
2	CMX 006	CMX 019	4.28	42.94	1.2/42.5	27	SP	222.95	30	1.2/42.5	SP	16	99.99972
3	CMX 019	CMX 033	4.3	18.17	1.2/42.5	30	SP	198.17	30	1.2/42.5	SP	16	99.99972
4	CMX 065	CMX 073	1.91	293.71	0.6/40.5	30	SP	113.71	30	0.6/40.5	SP	23	99.99978
5	CMX 072	CMX 080	1.82	296.08	0.6/40.5	41	SP	116.08	29	0.6/40.5	SP	23	99.99983
6	CMX 080	CMX 070	1.34	220.78	0.6/40.5	29	SP	40.77	35	0.6/40.5	SP	23	99.99998
7	CMX 049	CMX 047	1.15	231.98	0.6/40.5	45	SP	51.88	35	0.6/40.5	SP	23	99.99998
8	CMX 040	CMX 077	3.53	30.31	1.8/49.7	43	SP	210.31	35	1.8/49.7	SP	23	99.99967
9	CMX 083	CMX 084	1.89	76.81	0.6/40.5	35	SP	256.82	29	0.6/40.5	SP	23	99.99981
10	CMX 084	CMX 090	3.17	74.83	1.8/49.7	29	SP	254.84	35	1.8/49.7	SP	23	99.99953
11	CMX 102	CMX 104	6.04	82.03	1.8/46.1	30	SP	272.05	30	1.8/46.1	SP	15	99.99978
12	CMX 001	CMX 007	8.51	86.47	1.2/42.5	30	SP	266.49	30	1.2/42.5	SP	15	99.99978

CMX Clave para la Cd de México
 SP Antenas de potencia Estandar
 HS Hot-Standby

Tabla 7.3 Tabla de cálculos de enlaces para conformar anillos

7.2.5 NODOS

7.2.5.1 DESCRIPCIÓN DE NODOS

Al efectuar el cierre de anillos en la red local se tiene como resultado la posibilidad de reenrutar o plantear rutas alternas en caso de falla de un sitio, el resto de los sitios enlazados a éste en la ramificación respectiva tendrán la posibilidad de dirigirse al centro de conmutación por una ruta alterna, definida con anterioridad en cartas de enrutamiento que se analizarán más adelante. Con esto se ha logrado optimizar la red local actual, pero si se efectúa un análisis de circuitos se puede observar que este enrutamiento se tendría que efectuar en forma manual, es decir al presentarse la falla de algún sitio transcurriría un tiempo determinado en el cual un técnico operador deberá efectuar los cambios físicamente con lo que la red perderá su objetivo de optimización por esta pérdida de tiempo de comunicación, por lo que es necesario implementar un mecanismo inteligente dentro del sitio siendo éste ahora denominado como sitio nodal o nodo.

El nodo tiene como función reenrutar y administrar la información en caso de falla de algún circuito. En la figura 7.4 se observa la arquitectura de la red local propuesta con anillo y nodos

7.2.5.2 CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE NODOS

Para determinar los nodos en la red local se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

- Se deberá seleccionar el nodo tomando en cuenta la intersección para el cierre de anillos
- La importancia significativa en cuanto al tráfico de información dentro de la estructura
- El nodo deberá tener dos o más rutas disponibles al centro de conmutación

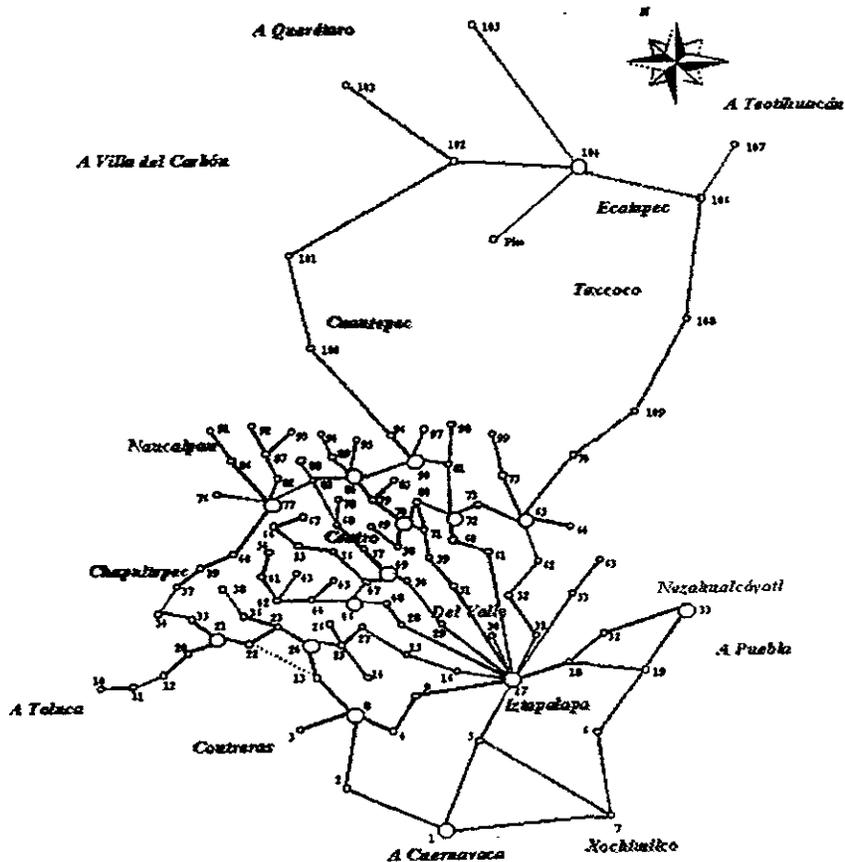


Figura 7.4 Diagrama de red local de CD de México con nodos

7.2.5.3 DETERMINACIÓN DE TRÁFICO

Un factor auxiliar para determinar la importancia del tráfico de los nodos se puede obtener a través de la tabulación de los sitios afectados en caso de posibles fallas entre enlaces, determinada a partir del enrutamiento normal de la red. Como se observa en la siguiente tabla:

ENLACE	SITIOS AFECTADOS	
17 - 18	18	32
18 - 32	32	
32 - 33		
18 - 19		19

17 - 53	53	63
53 - 63	63	

17 - 31	31	52	62		64	75	99	74	109	108	106	107		105
31 - 52		52	62		64	75	99	74	109	108	106	107		105
52 - 62			62		64	75	99	74	109	108	106	107		105
62 - 65					64	75	99	74	109	108	106	107		105
65 - 64					64									
65 - 75						75	99							
75 - 99							99							
65 - 74								74	109	108	106	107		105
74 - 109									109	108	106	107		105
109 - 108										108	106	107		105
108 - 106											106	107		105
106 - 107												107		
106 - 104														105
104 - 105														105

17-61	61	60	72	73	81	98	90	97	96	100	101	102	103
81-60		60	72	73	81	98	90	97	96	100	101	102	103
60-72			72	73	81	98	90	97	96	100	101	102	103
72-73				73									
72-81					81	98	90	97	96	100	101	102	103
81-98						98							
81-90							90	97	96	100	101	102	103
90-97								97					
90-96									96	100	101	102	103
96-100										100	101	102	103
100-101											101	102	103
101-102												102	103
102-103													103

17-30	30
-------	----

17-51	51	59	71	80	70	58	69	79	85	84	95	89	94
51-59		59	71	80	70	58	69	79	85	84	95	89	94
59-71			71	80	70	58	69	79	85	84	95	89	94
71-80				80									
71-70					70	58	69	79	85	84	95	89	94
70-58						58	69						
58-69							69						
70-79								79	85	84	95	89	94
79-85									85				
79-84										84	95	89	94
84-95											95		
84-89												89	94
89-94													94

ENLACE	SITIOS AFECTADOS														
--------	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

17 - 29	29	50		57	68	76	83	88		82	87	93	92	86	91	76
29 - 50		50		57	68	78	83	88		82	87	93	92	86	91	76
50 - 49				57	68	78	83	88		82	87	93	92	86	91	76
49 - 57				57	68	78	83	88		82	87	93	92	86	91	76
57 - 68				68	78	83	88			82	87	93	92	86	91	76
68 - 78					78											
68 - 83							83	88		82	87	93	92	86	91	76
83 - 88								88								
83 - 77										82	87	93	92	86	91	76
77 - 82										82	87	93	92			
82 - 87											87	93	92			
87 - 93												93				
87 - 92													92			
77 - 86														86	91	
86 - 91															91	
77 - 76																76

17 - 28	28	48		47	56	55	68	67	44	45	42	43	41	54
28 - 48		48		47	56	55	68	67	44	45	42	43	41	54
48 - 46				47	56	55	66	67	44	45	42	43	41	54
46 - 47				47	56	55	66	67						
47 - 56					56	55	66	67						
56 - 55						55	66	67						
55 - 66							66	67						
66 - 67								67						
46 - 44									44	45	42	43	41	54
44 - 45										45				
44 - 42											42	43	41	54
42 - 43												43		
42 - 41													41	54
41 - 54														54

17 - 16	16	15	27	25	26		23	36	38	14
16 - 15		15	27	25	26		23	36	38	14
15 - 27			27	25	26		23	36	38	14
27 - 25				25	26		23	36	38	14
25 - 26					26					
25 - 24							23	36	38	
24 - 23								23	36	38
23 - 36									36	38
36 - 38										38
25 - 14										14

ENLACE		SITIOS AFECTADOS														
17-9	9 4		13	22	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10	3	
9-4	4		13	22	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10	3	
4-8			13	22	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10	3	
8-13			13	22	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10		
13-24		REPETIDOR	22	21	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10		
24-23		REPETIDOR	22	21	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10		
23-22		REPETIDOR	22	21	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10		
22-21				21	21	35	34	37	39	40	20	12	11	10		
21-35						35	34	37	39	40						
35-34							34	37	39	40						
34-37								37	39	40						
37-39									39	40						
39-40										40						
21-20											20	12	11	10		
20-12												12	11	10		
12-11													11	10		
11-10														10		
8-3															3	

17-5	5		2	7	6
5-1			2		
1-2			2		
5-7				7	6
7-6					6

Tabla 7.4 Sitios afectados.

7.3 ENLACE ENTRE REDES LOCAL Y NACIONAL

En la figura 7.5 se observa el enlace entre las redes local y nacional utilizando los enlaces BB001 - CMX021, BB001 - CMX017 y CMX017 - CMX021 los cuales son de alta capacidad (63E1's), debido a que estos enlaces son la interface entre la red local y la red nacional; dirigido el sitio BB001 hacia el norte de la republica, el sitio CMX017 respaldando la parte suroeste o zona pacifico y el sitio CMX021 apoyando hacia el sureste. Cabe mencionar que ésta puede ser una alternativa a utilizarse en caso de falla de varios anillos en la red local, y basa su funcionamiento en los elementos propuestos de la red nacional, que se detallará en el capítulo ocho.

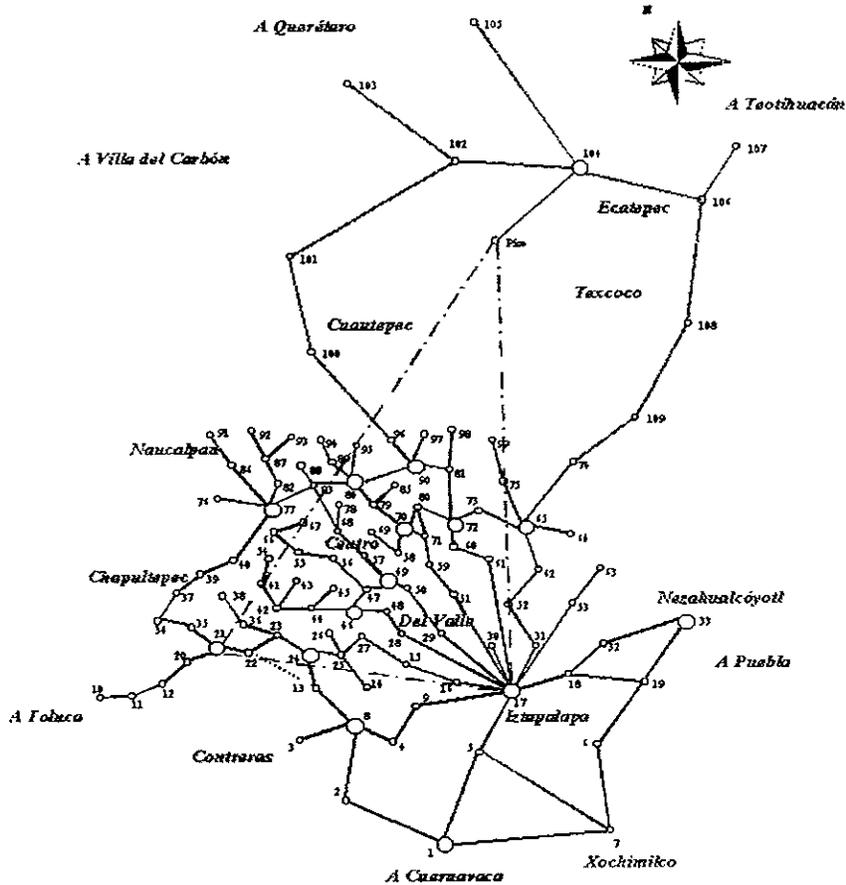


Figura 7.5 Red local optimizada

Resumiendo se tiene una red con configuración radial en donde los niveles jerárquicos de transmisión son:

- a) Nodo Principal
- b) Nodos y
- c) Sitios o Centro Primario

Donde cada uno cumple con determinadas funciones específicas y cuenta con un equipamiento mínimo para la realización de las mismas.

7.4 EQUIPAMIENTO

Dependiendo del nivel jerárquico dentro de la estructura de la red, se tendrá un equipamiento distinto en cada localidad, que deberá ser como se describe a continuación en forma general ya que más adelante se detallará en forma técnica y específica:

- Sitio: El equipo mínimo que debe instalarse en un sitio es:
 - Antena
 - Radio de microondas dividido en dos partes que son el amplificador y el modem
 - Equipo auxiliar de conexión para pruebas y mantenimiento
 - Radio Base "Trunking"

- Nodos: el equipamiento básico para un nodo es:
 - Antena
 - Radio de microondas dividido en dos partes que son el amplificador y el modem
 - Equipo auxiliar de conexión para pruebas y mantenimiento
 - DACS (Sistema Digital de Crosconexión y Acceso – Digital Access Crosconetion System).
 - Radio Base "Trunking"

La función principal de un nodo es la de enrutamiento automático en caso de falla de algún sitio. Un nodo tiene la capacidad de recibir mas de 16 E1's provenientes de diferentes rutas y de la misma manera deberá enrutar los E1's por los caminos preestablecidos en su totalidad por medio de un programa de alto nivel. En un nodo la información se recibe y se envía sin sufrir modificación.

- Nodo Principal: el equipamiento básico para el nodo principal de conmutación es:
 - Antena
 - Radio de microondas dividido en dos partes que son el amplificador y el modem
 - Equipo auxiliar de conexión para pruebas y mantenimiento
 - DACS
 - Sistema de Gestión, para atender la red de transmisión.

En el nodo principal se efectúa la conexión de la red local con la red pública conmutada a través del sistema troncal digital. La función del nodo principal es la de controlar el trafico, tarificar y, dar seguimiento al buen funcionamiento de la red por conducto del sistema de gestión; así recibir, concentrar y entregar la información correctamente canalizada al sistema troncal digital.

7.4.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE EQUIPO

En el mercado existen diferentes marcas que podrían cumplir con los requerimientos, que a grandes rasgos y a manera de repaso son los siguientes: La plataforma de transmisión deberá ser integrada para que soporte todos los componentes de la red de transporte, debe ser un sistema flexible y de fácil actualización, se deberán integrar en la red todos con protocolos de transmisión comunes y estándares totalmente gestionables a través de la plataforma. Es decir todos los componentes, desde módems hasta los nodos troncales de la plataforma serán gestionables desde un centro único de gestión. Estos factores permiten considerables ahorros para el operador de la red, ya que puede optimizar la capacidad de la red y los recursos para las necesidades que tenga en ese momento. La plataforma también deberá ser actualizable para poder introducir nuevos módulos de interfaz, cuando una nueva tecnología esté disponible comercialmente.

Resumiendo, la plataforma deberá tener:

- La mayor flexibilidad
- Módulos
- Posibilidad de gestión
- Posibilidad de expansión
- Operación por línea para reducir el costo de operación
- Una plataforma abierta para todos los servicios presentes y futuros.

Para la elección del equipo en forma técnica se debe tomar en cuenta:

- Estabilidad de la frecuencia
- Potencia de salida del Sistema de Transmisión
- Sensibilidad 10^{-6}
- Umbral de recepción BER
- Corrección de errores FEC
- Ganancia del sistema
- Conmutación sin pérdida de trama (Hitless)
- Codificación scrambling
- Rango de frecuencia
- Programación de frecuencia en campo
- Capacidad digital en E1's
- Ancho de banda
- Tipo de emisión
- Impedancia
- Código digital de línea
- Modulación
- Sistema de gestión.
- Normas gubernamentales

- Misceláneos como temperatura, humedad relativa, altitud, alimentación eléctrica, consumo de potencia, dimensiones, peso

En las tablas comparativas 7.5,7.6 y 7.7 se hace un análisis de tres diferentes marcas de equipos que solo nombraremos como radio1, radio2 y radio3. En la primera columna se presentan los parámetros a valorar de la red, en la segunda los requerimientos de la red propuesta y en las restantes los parámetros ofrecidos por las diferentes marcas, se hace hincapié que para la selección del equipo se deberá cumplir con los parámetros requeridos y en el caso de existir alguna discrepancia benéfica a la red se tomará como una desviación aceptable y calificativa a favor para la selección del equipo, de la misma forma el incumplimiento de alguno de los parámetros técnicos de los equipos valorados será motivo de descalificación del mismo. El presente análisis se realizará para las bandas de 15 GHz, 23GHz y 7GHz, así como el sistema de gestión.

	Req. Red	Radio I	Radio II	Radio III
Transmisor				
Est. de Frecuencia [%]	±0.03	±0.005	±0.000010	±0.005
Potencia Salida ST [dBm]	Mayor posible	+27	+22	+18.2
Receptor				
Sensibilidad 10 ⁻⁵ para 16xE1 [dBm]	Menor posible	-74	-83 en 10 ⁻³	-74.5
Est. de Frecuencia [%]	±0.03	±0.005	±0.000010	±0.005
Umbral de recepción BER	Mejor posible	10 ⁻¹² o mejor	-	10 ⁻¹¹ o mejor
Corrección de errores FEC	Sí	Sí	Sí	Sí
Ganancia del sistema ST [dBm]	Mayor posible	91	105 en 10 ⁻³	111
Conmutación sin pérdida de trama (Hitless)	Sí	Sí	Sí	Sí
Codificación Scrambling	Sí	Sí	Sí	Sí
General				
Rango de frecuencia [GHz]	Mayor posible	14.2-15.35	14.4-15.35	14.4-15.35
Programación de frecuencia en campo	Sí	Sí	Sí	Sí
Capacidad Digital E1's	16	2,4,8,16	2,4,8,16	2,4,8,16
Ancho de banda para 16E1's [MHz]	28	28	28	28
Interface digital				
Impedancia 75Ω desbalanceada 120Ω balanceada	Soportar ambas impedancias	BNC Hembra DB-25	BNC Hembra DB-25	BNC Hembra DB-25
Código Digital de Línea	HDB3	HDB3	HDB3	HDB3
Modulación	4-FSK	4-FSK	4QAM	4-FSK
Espaciamento Tx/Rx	ITU-R	ITU-R	ITU-R 636-2	ITU-R
Temperatura [°C] Unidad exterior Unidad interior	-10 a +40 -10 a +40	-30 a +55 -20 a +55	-33 a +55 -10 a +55	-30 a +55 -20 a +55
Humedad relativa	30%	95% a +40°C	-	
Altitud [m]	3000	Mayor a 4572	Mayor a 4000	Mayor a 4500
Alimentación Vdc	±20 a 60	±19.2 a 57.6	±39 a ±68	±20 a ±60
Consumo de potencia W para 16E1's	Menor posible	145	160 a 180	150
Mecánicas para 16E1 protegido				
(HxWxD) Unidad exterior Unidad interior	El más pequeño	33x59x17 cm 4Ux42.2x30 cm	25x25x25 44x45x23.5	30x59x17 cm 4Ux42.2x30 cm
Peso [kg] Unidad exterior Unidad interior	E1 más ligero	17.7 5.7	12 3	15 5
Sistema de Gestión	Protocolo Abierto	Propietario	Propietario	SNMP

Tablas 7.5 Tabla comparativa para radios digitales de microondas en la banda de 15

	Req. Red	Radio I	Radio II	Radio III
Transmisor				
Est. de Frecuencia [%]	±0.005	±0.005	±0.000010	±0.005
Potencia Salida ST [dBm]	Mayor posible	+27	+19	+17.2
Receptor				
Sensibilidad 10 ⁻⁶ para 16xE1 [dBm]	Menor posible	-72.5	-84 en 10 ⁻³	-74.5
Est. de Frecuencia [%]	±0.03	±0.005	±0.000010	±0.005
Umbral de recepción BER	Mejor posible	10 ⁻¹² o mejor	-	10 ⁻¹¹ o mejor
Corrección de errores FEC	Sí	Sí	Sí	Sí
Ganancia del sistema ST [dBm]	Mayor posible	89.5	103 en 10 ⁻³	
Conmutación sin pérdida de trama (Hitless)	Sí	Sí	Sí	Sí
Codificación Scrambling	Sí	Sí	Sí	Sí
General				
Rango de frecuencia [GHz]	Mayor posible	21.2-23.6	21.2-23.6	21.2-23.6
Programación de frecuencia en campo	Sí	Sí	Sí	Sí
Capacidad Digital E1's	16	2,4,8,16	2,4,8,16	2,4,8,16
Ancho de banda para 16E1's [MHz]	28	28	28	28
Interface digital				
Impedancia 75Ω desbalanceada 120Ω balanceada	Soportar ambas impedancias	BNC Hembra DB-25	BNC Hembra DB-25	BNC Hembra DB-25
Código Digital de Línea	HDB3	HDB3	HDB3	HDB3
Modulación	4-FSK	4-FSK	4QAM	4-FSK
Espaciamiento Tx/Rx	ITU-R	ITU-R	ITU-R 636-2	ITU-R
Temperatura [°C]				
Unidad exterior	-10 a +40	-30 a +55	-33 a +55	-30 a +55
Unidad interior	-10 a +40	-20 a +55	-10 a +55	-20 a +55
Humedad relativa	30%	95% a +40°C	-	
Altitud [m]	3000	Mayor a 4572	Mayor a 4000	Mayor a 4500
Alimentación Vdc	±20 a 60	±19.2 a 57.6	±39 a ±68	±20 a ±60
Consumo de potencia [W] para 16E1's	Menor posible	145	160 a 180	150
Mecánicas para 16E1 protegido				
Unidad exterior (HxWxD)	El más pequeño	33x59x17 cm	25x25x25	30x59x17 cm
Unidad interior		4Ux42.2x30 cm	44x45x23.5	4Ux42.2x30 cm
Peso [kg]				
Unidad exterior	E1 más ligero	17.7	12	15
Unidad interior		5.7	3	5
Sistema de Gestión	Protocolo Abierto	Propietario	Propietario	Propietario SNMP

Tabla 7.6 Comparativa para radios digitales de microondas en la banda de 23 GHz

	Req. Red	Radio I	Radio II	Radio III
Transmisor				
Est. de Frecuencia [%]	±0.003	±0.001	±0.000010	±0.0003
Potencia Salida ST [dBm]	Mayor posible	+27	+27	+27.3
Receptor				
Sensibilidad 10 ⁻⁶ para 16xE1 [dBm]	Menor posible	-79	-87 en 10 ⁻³	-67
Est. de Frecuencia [%]	±0.003	±0.005	±0.000010	±0.0003
Umbral de recepción BER	Mejor posible	10 ⁻¹² o mejor	-	-
Corrección de errores FEC	Sí	Sí	Sí	Sí
Ganancia del sistema ST [dBm]	Mayor posible	106	114 en 10 ⁻³	99
Conmutación sin pérdida de trama (Hitless)	Sí	Sí	Sí	Sí
Codificación Scrambling	Sí	Sí	Sí	Sí
General				
Rango de frecuencia [GHz]	Mayor posible	7.1-8.5	7.1-8.5	7.11-7.75 y 7.725-8.275
Programación de frecuencia en campo	Sí	No	No	Sí
Capacidad Digital E1's	16	8,16,2xE3	1,4,8,16,E3	E1,E3 y SMT1
Ancho de banda para 16E1's [MHz]	28	14	28	28 y 29.65
Interface digital				
Impedancia 75Ω desbalanceada 120Ω	Soportar ambas impedancias	E1-E3 BNC Hembra E1 50 Pin CONECTOR	Todos BNC Hembra 2Mbit	E1 y SMT1
Código Digital de Línea	HDB3	HDB3	HDB3	HDB3 y CMI
Modulación	4-FSK	16 QAM	4QAM	128 QAM
Espaciamiento Tx/Rx	ITU-R	ITU-R	ITU-R 636-2	ITU-R
Temperatura [°C]				
Rf	-10 a +40	-30 a +55	-10 a +55	-40 a +65
Modem	-10 a +40	0 a +40	-	95%
Humedad relativa	30%	95% a +40°C	-	95%
Altitud [m]	3000	Mayor a 4572	Mayor a 4000	Mayor a 4500
Alimentación Vdc	±20 a 60	-42 a -56	±20 a ±60	-48
Consumo de potencia [W] para 16E1's	Menor posible	160	105	170
Mecánicas para protegido				
Rf	El más pequeño	53.3x48.3x17.3 cm	44.5x45x27 cm	213.4x61.6x38.1 cm
Modem		31.1x48.3x26.2 cm		
Peso [kg]				
Rf	E1 más ligero	32.7	-	-
Modem		17.7		
Sistema de Gestión	Protocolo Abierto	Propietario	Propietario	Propietario Q Int

Tabla 7.7 comparativa para radios digitales de microondas en la banda de 7 GHz

Para la elección de los DAC'S se debe tomar en cuenta:

- Grooming
- Ruteador
- Pruebas remotas y locales
- Pruebas de bucle (loop)
- Conversión E1 – T1
- Capacidad máxima
- Jerarquía digital
- Servicios
- Compresión de voz
- Sincronía
- Bastidor (in)
- Sistema de gestión
- Sistema operativo
- Protocolo
- Interfaz de gestión
- Reportes de falla (trouble ticket)

Así mismo dentro de las especificaciones de los DAC'S debemos considerar que: pueda rutear, poder hacer pruebas locales y remotas, pruebas de bucle o loop para verificar que las tarjetas estén funcionando correctamente, que tenga conversión de E1's a T1's, esta opción es necesaria para cuando se requiera hacer conexiones con las compañías de Estados Unidos y Canadá que manejan como estándar los T1's, que pueda manejar servicios de datos, que las medidas de los bastidores (racks) sean de 19 pulgadas para poder insertar diferentes tipos de tarjetas, que tenga la capacidad de hacer grooming para la segregación de la señal que entra; la interfase de gestión de preferencia deberá ser Q3 que es la más utilizada en este tipo de equipos y si puede tener los siguientes atributos adicionales: seguridad por niveles de trabajo, gestión de nodos y mediciones, reportes de fallas y gestión en sitio para poder tomar acciones correctivas en caso de contingencias.

En la tabla comparativa 7.7 se hace un análisis de cuatro diferentes marcas de equipos que solo nombraremos como Dac1, Dac2, Dac3 y Dac4. En la primera columna se presentan los parámetros a valorar de la red, en la segunda los requerimientos de la red propuesta y en las restantes los parámetros ofrecidos por las diferentes marcas, de la misma forma como en el caso de los radios se hace hincapié que para la selección del equipo se deberá cumplir técnicamente con los parámetros requeridos y en el caso de existir alguna discrepancia benéfica a la red se tomará como una desviación aceptable y calificativa a favor para la selección del equipo, de la misma forma el incumplimiento de alguno de los parámetros técnicos de los equipos valorados será motivo de descalificación del mismo.

	Req. Red	Dac I	Dac II	Dac III	Dac IV
Grooming	Si	Si	Si	Si	Si
Ruteador	Si	Si	Si	Si	Si
Pruebas remotas y locales	Si	Si	Si	Si	Si
Pruebas de bucle (loop)	Si	Si	Si	Si	Si
Conversión E1-T1	Si	Si	Si	Si	Si
Capacidad máxima en E1	64	20,32,256,1024	6,32	128	32,256
Jerarquía Digital	PDH,SDH	PDH,SDH	PDH,SDH	PDH,SDH	PDH,SDH
Servicios	Datos	Voz, Datos, Video, ATM, FrameRelay	Voz, Datos, Video, ATM, Frame Relay	Voz, Datos, Video, ATM, FrameRelay	Voz, Datos, Video, ATM, FrameRelay
Sincronía	Reloj Externo	Reloj Externo	Reloj Externo	Reloj Externo	Reloj Externo
Bastidor (in)	19	19	19	23	19 o 23
Sistema de Gestión					
Sistema Operativo	El más estándar posible	OS/2	Propietario	Propietario	Diferentes niveles en Unix y MS-Dos
Protocolo	Abierto	Propietario HDLC	T1M1.3 PM	T1M1.3 PM	CPSS
Interfaz de Gestión	Q3	Q3	Q2	Q2	X.25
Seguridad de Gestión	Niveles de trabajo	Niveles de trabajo	Niveles de trabajo	Niveles de trabajo	Niveles de trabajo
Gestión de Nodos y Mediciones	Si	Si	Si	Si	Si
Mediciones	G.821	G.821	G.821	G.821	G.821
Reportes de Falta (Trouble Ticket)	Si	Si	Si	Si	Si
Gestión en sitio	Si, con equipo portátil	Lap Top	Lap Top	Lap Top	Lap Top

Tabla 7.7 Comparativa Sistemas Digitales de Acceso y Conexión Cruzada (DAC'S)

La elección del equipo se hace con base a:

1. Cumplimiento técnico
2. Al sistema de gestión con protocolo SNMP
3. Disponibilidad en México
4. Refacciones y servicio
5. Precio

Como podemos observar el equipo de radio1 y radio2 se descartan por presentar un sistema de gestión con protocolo propio que, si bien no es malo, se perdería la flexibilidad en la plataforma debido a que el protocolo SNMP es más simple y eficiente en su uso y no se depende de un proveedor para su implementación. En conclusión podemos determinar que el radio1 y el radio2 no cumplen técnicamente.

La elección de los DAC'S se hace con el criterio de tomar en cuenta la capacidad de manejo de E1. Por lo que se selecciona el equipo de la tercera columna.

7.5 TABLAS DE ENRUTAMIENTO

Una vez efectuada la selección del equipo se deberá tomar en cuenta la conexión y programación del mismo, el cual deberá tener una ruta específica elaborada de acuerdo a los enrutamientos diseñados por el área de ingeniería de tráfico en donde se toman en cuenta las rutas directas entre sitios y también las rutas alternas en caso de que se presentara alguna falla, este enrutamiento se presenta por medio de tablas en las que se presenta información técnica resumida de una conexión a seguir, en la primera columna se da la información del nodo principal y en las columnas posteriores información de cada uno de los sitios o nodos restantes incluyendo en las mismas las conexiones físicas de tributarias, dsx y nodos en caso de existir. Se presenta parcialmente, en la tabla 7.8, la red funcionando en operación normal (sin falla).

Para la programación y conexión de estos equipos se deberá entregar un documento integrado por tantas tablas como sitios tiene la red. Cada tabla contempla la posibilidad de que falle un sitio y la tabla contiene la programación con que deberá operar el sistema en caso de esa falla. Estas tablas también contemplan la posibilidad de que fallen más de un sitio a la vez. Como ejemplo se muestra la tabla 7.9 de una ruta alterna al presentarse una falla en la red enmarcada por el anillo formado por los sitios CMX009, CMX004, CMX002, y CMX005, por los nodos CMX008 y CMX001, y por el nodo principal CMX017, que se puede observar en la figura 7.6. Si se observa la red en su estructura básica (estrella), y se tuviera una falla en el sitio CMX009 se perdería la comunicación del sitio CMX004, CMX008 así como los servicios que llegan al nodo CMX008 y que están programados en la tabla de funcionamiento normal en su enrutamiento a través de los sitios CMX004 y CMX009 para llegar al nodo principal.

Con la integración de los nodos y anillos existe la posibilidad de enlazar el sitio CMX008 y los servicios que llegan a él por rutas alternas a la que normalmente está programado. En este caso se tienen dos rutas alternas disponibles para solucionar el problema y que la falla afecte a la menor cantidad de sitios posibles, estas rutas son las siguientes: la primera a través del sitio CMX002, el nodo CMX001, el sitio CMX005 y el nodo principal CMX017, y la segunda la ruta formada por el sitio CMX013, el nodo CMX024, los sitios CMX025, CMX027, CMX015 y CMX016, y el nodo principal CMX017. Con este ejemplo se puede observar la flexibilidad que presenta la red en caso de falla de algún elemento que integra esta.

Los sitios CMX009 y CMX004 van a quedar fuera de servicio ya que para poder ser reenrutados es necesario que lleguen a un nodo para poder realizar esta operación; en este ejemplo podrían reenrutarse si en su programación normal antes de ir hacia el sitio CMX017 pasaran por el nodo CMX008, cosa que no es así. El servicio de los sitios que de manera normal pasan por el nodo CMX008 y que son factibles de ser reenrutados son los de los sitios: CMX008, CMX003, CMX013, CMX024, CMX036, CMX022, CMX035, CMX037, CMX040, CMX012 y CMX010, que suman once E1's. Observando la tabla 7.8 de funcionamiento normal se observa que la ruta que llega al nodo principal CMX017 que llega a través del sitio CMX005 tiene once tributarias libres por lo que se

elige reenrutar los once servicios que llegan al nodo CMX008 de manera normal a través de los sitios CMX002, CMX001 y CMX005 para llegar al nodo principal como se muestra en la tabla 7.9.

El sistema opera de manera normal siguiendo la tabla de funcionamiento normal, que como se mencionó, contempla de manera precisa el modo en que el servicio de todos los sitios que generan tráfico llegan hasta el nodo principal. En caso de alguna falla el sistema cambia de manera automática a la tabla prevista para la falla específica, y todo el sistema adopta para su funcionamiento ésta tabla. En el ejemplo que se presenta la tabla alterna solo cambia para los servicios que se mostraron y el resto de la tabla permanece sin cambios, ya que solo es necesario hacer los cambios descritos en el ejemplo.

Nodo Principal	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3		Sitio 4		Sitio 5		Sitio 6		Sitio 7		Sitio 8		Sitio 9		Sitio 10		Sitio 11		Sitio 12		Sitio 13													
	Tribo	Ser	Sitio	Tribo	Sitio	Tribo	Sitio	Tribo	Sitio	Tribo	Sitio	Tribo	Sitio																									
65	5	1	5																																			
66	7	2	5	1	1	7																																
67	6	3	5	2	2	7	1	1	6																													
68	1	4	5	1	1	1																																
69	2	5	5	2	2																																	
70		6																																				
71		7																																				
72		8																																				
73		9																																				
74		10																																				
75		11																																				
76		12																																				
77		13																																				
78		14																																				
79		15																																				
80		16																																				
81	8	1	9																																			
82	4	2	9	1	1	4																																
83	8	3	9	2	2	4	1	1	8																													
84	3	4	9	3	3	4	2	2	8	1	1	3																										
85	13	5	9	4	4	4	3	3	8	1	13																											
86	24	6	9	5	5	4	4	4	8	2	13	1	1	24																								
87	36	7	9	6	6	4	5	5	6	3	13	2	2	24	1	1	23	1	1	36																		
88	22	8	9	7	7	4	6	6	8	4	13	3	3	24	2	2	23	1	1	22	1	1	21															
89	35	9	9	8	8	4	7	7	8	5	13	4	4	24	3	3	23	2	2	22	2	2	21	1	1	35												
90	37	10	9	9	9	4	8	8	8	6	13	5	5	24	4	4	23	3	3	22	3	3	21	2	2	35	1	1	34	1	1	37						
91	40	11	9	10	10	4	9	9	8	7	13	6	6	24	5	5	23	4	4	22	4	4	21	3	3	35	2	2	34	2	2	37	1	1	39	1	1	40
92	12	12	9	11	11	4	10	10	8	8	13	7	7	24	6	6	23	5	5	22	5	5	21	1	1	20	1	1	12									
93	10	13	8	12	12	4	11	11	8	9	13	8	8	24	7	7	23	6	6	22	6	6	21	2	2	20	2	2	12	1	1	11	1	1	10			
94		14																																				
95		15																																				
96		16																																				

Tabla 7.8 Ejemplo tabla de enrutamiento

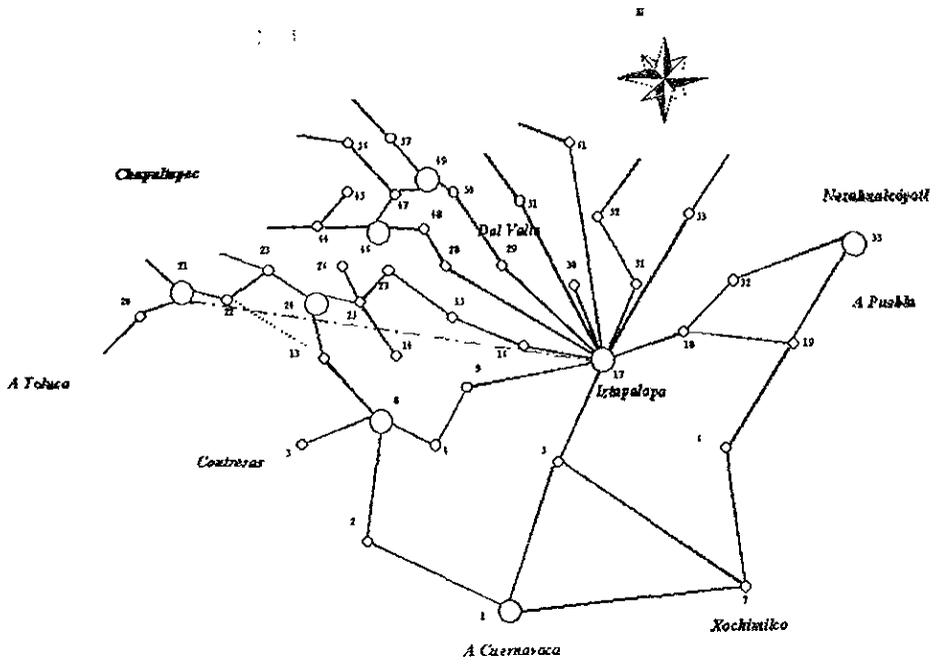


Figura 7.6 Ruta alterna a causa de falla

8. RED NACIONAL

8.1 INTRODUCCIÓN

Como se puede observar en el capítulo anterior la red original a nivel local cuenta con una estructura en forma de estrella, que se origina por ser la forma más económica de creación y el camino más corto para que la información llegue al centro de conmutación. Se planteó que para aumentar la confiabilidad de una red y para evitar que los canales de información no se perdieran en caso de que falle algún enlace, se requería de formar anillos y definir rutas alternas para el enrutamiento de esta información hacia el centro de conmutación, transformando nuestra red original de configuración en estrella, a una nueva red con configuración de malla (cuando la red funciona en forma normal se encuentra trabajando con una configuración en estrella y en caso de falla trabaja en una configuración en malla). La transformación de la red para optimizarla no solo dependió de lo antes expuesto, también se implementaron una serie de nodos con tecnología capaz de cambiar la trayectoria de la información automáticamente en caso de falla, mediante un plan de trayectorias alternas preestablecidas, diseñado para tal efecto. La transformación de estrella a malla en caso de falla se hace en forma automática, con una rapidez imperceptible y es supervisada desde el centro de conmutación principal.

En la red local que se ilustra en la figura 3.3 del capítulo 3, se puede observar que el centro de conmutación de la misma se encuentra en el sitio CMX017, y es importante mencionar que además de ser el centro de conmutación a nivel local lo es también a nivel nacional, convirtiéndose este sitio en el más importante de la red local y de la red nacional (back-bone). Con la finalidad de proteger la comunicación, tener confiabilidad y acceso en forma ininterrumpida al sitio CMX017, éste se enlaza a través de los sitios CMX021 y en el sitio "Cerro Pico Tres Padres" BB001, formando entre sí un triángulo de comunicación de alta capacidad, que además de ofrecer protección de la información, permite enlazarse con las rutas que parten de la ciudad de México, obedeciendo a las limitaciones que impone la situación geográfica del Valle de México.

8.2 RED NACIONAL (BACK-BONE)

El objetivo de la red en integración nacional es el de llevar a través de ella la información que se genera en las diferentes poblaciones y regiones del país, hacia el centro de conmutación, para establecer la comunicación requerida por el usuario, siendo en el centro de conmutación donde la llamada es dirigida hacia su destino final. Por ejemplo, cuando la llamada se genera en algún radio y se quiere comunicar con otro radio del sistema, la llamada se enruta primero a través de la red local donde se encuentra el primero, después si es necesario se lleva por el back-bone hasta llegar al centro de conmutación. A partir del centro de conmutación se enruta la llamada hacia la

red local donde se encuentra el radio con el que se quiere establecer la conexión, a través del back-bone si es necesario, hasta establecer la comunicación con el radio deseado, como se ilustra en la figura 8.1.

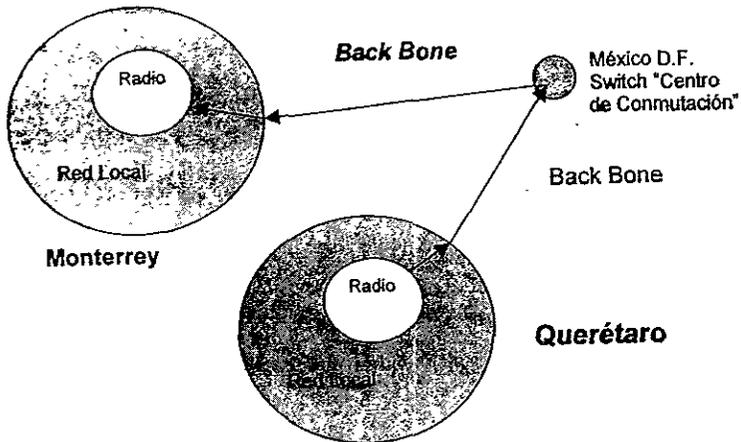


Figura 8.1. Ejemplo de una llamada generada por un radio en la ciudad de Querétaro a comunicarse con otro radio en la ciudad de Monterrey.

Si se desea establecer una llamada a partir de un radio hacia un teléfono de la red pública conmutada, la llamada se encamina primero a través de la red local donde se encuentra el radio, después si es necesario por el back-bone hasta llegar al centro de conmutación, en el centro de conmutación se dirige nuevamente la llamada hacia la red local donde se encuentra el radio que genera la llamada, y en ese sitio se enlaza con una troncal de la red pública conmutada, la cual se encarga de llegar hasta el teléfono deseado. Por ejemplo si se desea hacer una llamada a partir de un radio en la ciudad de Querétaro hacia un teléfono residencial de la red pública conmutada en Monterrey la llamada se llevaría a cabo de la siguiente manera. Primero la llamada del radio se encamina a través de la red local de Querétaro, después a través del back-bone hasta llegar al centro de conmutación en la Cd. de México, regresando la llamada por el back-bone a Querétaro donde se enlaza con una troncal de la red pública conmutada, la cual lleva la llamada hasta la ciudad de Monterrey, haciendo la conexión con el teléfono deseado como se ilustra en la figura 8.2.

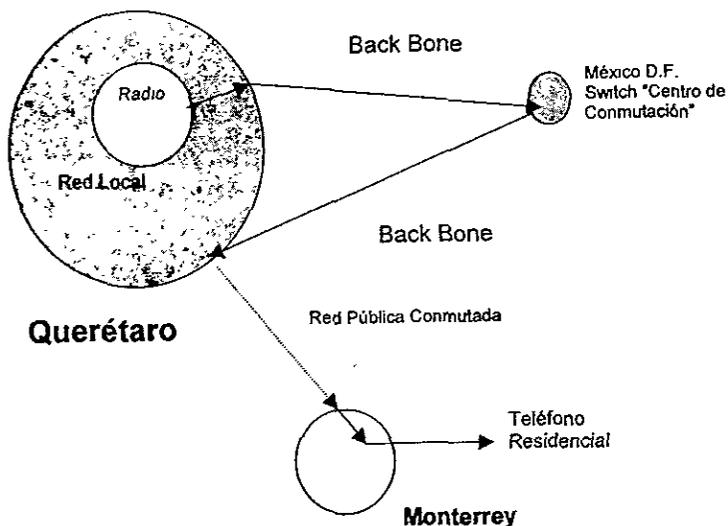


Figura 8.2. Ejemplo de una llamada generada por un radio en la ciudad de Querétaro con un teléfono de la red pública conmutada en la ciudad de Monterrey.

Tomando en cuenta la figura 8.2, cabe mencionar que aunque el sistema tiene la capacidad para entregar la llamada a una troncal de la red pública conmutada directamente en la ciudad de Monterrey, esto no se hace ya que la empresa no tiene concesión para prestar el servicio de larga distancia. Como se puede ver es un proceso largo y complicado pero imperceptible, tanto para el que hace la llamada como para el que la recibe.

8.3. ANALISIS DE LA RED NACIONAL

La República Mexicana está dividida en 9 grandes regiones³² (ver tabla 3.1 capítulo 3), y como se describió en el subcapítulo 3.2 estado de la red actual, los enlaces de microondas actuales son los siguientes: México D.F. a Querétaro, México D.F. a Puebla, Querétaro a Monterrey y Monterrey a Saltillo. Las rutas Querétaro a Guadalajara y Puebla a Veracruz solo cuentan con sus concesiones autoizadas por COFETEL, más no instaladas, como se pueden observar en la figura 3.2 y las tablas 3.2 del capítulo 3.

Como características genéricas de la red nacional actual, tenemos que ésta se encuentra operando en la banda de 2 GHz, los tramos Querétaro a Guadalajara y Puebla a Veracruz están concesionados en la banda de 7 GHz mas no instalados. Como se ha mencionado anteriormente y como se puede observar en la figura 3.2 del

³²COFETEL regiones geográficas de la subasta para la provisión de enlaces de microondas

capítulo 3, la red nacional tiene forma de estrella y en caso de falla de alguna ruta no dispone de rutas alternas para respaldar el tramo afectado, además se necesita establecer una mayor cobertura de la red nacional, por lo que se deben realizar los siguientes cambios:

- Cambio de banda de los enlaces de 2 GHz a 7 GHz, debido a que la banda de 2 GHz fue designada para el servicio de PCS (Personal Communication Service). La selección del equipo para operar en la banda de 7 GHz, como la efectuada en el capítulo 7.
- Reubicación o adición de repetidoras, debido a que con el cambio de la frecuencia de operación, disminuirá la distancia máxima de alcance de los saltos (enlace directo entre dos radios de microondas). Para la banda de 2 GHz el alcance máximo de los saltos es de 100 km y para la banda de 7 GHz el alcance máximo es de 70 km aproximadamente, esta distancia es definida por las limitaciones que impone la banda de frecuencias a utilizar, la disponibilidad requerida para los enlaces y las características de los equipos disponibles en el mercado; por lo que probablemente las distancias entre algunos de los repetidores actuales no cumplan con la distancia requerida para las nuevas necesidades.
- Instalar las rutas ya concesionadas que aún no han sido instaladas en la banda de 7 GHz.
- Proponer las ciudades y regiones que se quieren cubrir a futuro con el sistema, para proyectar el desarrollo de la red hacia esos lugares.
- Proponer las rutas para cubrir las nuevas necesidades de la red.
- Proponer las rutas para formar anillos y tener rutas alternas en caso de falla de alguno de los enlaces.
- Seleccionar nodos para el redireccionamiento automático de la información en caso de fallas en la red.
- Proponer los sitios donde se instalarán los centros de conmutación que se integrarán a la red.

No perdiendo de vista para estos cambios el criterio de tratar de aprovechar al máximo la estructura actual de la red existente.

8.4 REUTILIZACION DE LA RED EXISTENTE

Con la finalidad de aprovechar la infraestructura existente en la red nacional actual, para explotar las concesiones ya otorgadas, y como consecuencia abatir el costo de la nueva red, se deberá:

- Efectuar un análisis de todos y cada uno de los saltos existentes, para determinar si cumplen todos ellos con las características básicas necesarias para establecer un enlace de 7 GHz, que son la distancia máxima de cada salto, en este caso es de 70 km para cumplir con la disponibilidad de 99,9996% como mínimo, la línea de vista y la altura de las torres, las cuales no se recomiendan que sean mayores de 70 m por cuestiones económicas, quedando abierta la posibilidad de que sean mayores dependiendo del análisis de cada caso.
- Plantear propuestas de solución para aquellos tramos que no cumplen con las limitaciones planteadas, con la finalidad de hacer funcionales las rutas y saltos existentes. En el caso de que un salto se exceda en la distancia máxima o que no tenga línea de vista, se buscará modificar la posición de él o los sitios que lo forman y si es necesario incluir nuevos sitios, donde si se salven las limitaciones impuestas, para lo que se tomará en cuenta la orografía, los pueblos y ciudades en la zona, y las vías de acceso a los sitios. Para buscar sitios que pudieran ser adecuados, se recomienda buscar en la zona los sitios pertenecientes a la red federal de microondas, ya que estos se ubican en posiciones estratégicas en relación, al nivel del suelo que favorecen el alcance de los saltos, la línea de vista y el acceso y servicios en estos lugares. De no tener resultados positivos con estos sitios se recomienda buscar sitios adecuados en los pueblos y ciudades de la zona. Pudiendo quedar ubicados los sitios en lugares donde aún no existen vías de acceso y servicios, y que deberán ser analizados en cada caso para considerar su conveniencia, tomando en cuenta el mayor costo de instalación que representan.
- El criterio para aceptar un salto como válido o no, es que cumpla con las características de línea de vista, distancia máxima, acceso fácil al sitio, y servicios como es la energía eléctrica; y posteriormente, después de hacer los cálculos analíticos correspondientes, que cumpla con el mínimo de disponibilidad requerida, que finalmente es el requisito fundamental que deben cumplir los saltos para ser integrados a la red.

A continuación se presenta un ejemplo de la forma para valorar los enlaces así como una alternativa de solución para un enlace que no es favorable para la reutilización del mismo con las características actuales.

En este ejemplo se muestra el enlace entre los sitios El Potosí a Papagayos que se ubican en el estado de Nuevo León, y a continuación se presentan sus características técnicas y geográficas

Nombre	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNMM [m]	Tipo de Torre	ALT. [m]
	°	'	''	°	'	''			
El Potosí	24	52	22	100	14	0	3700	Autosoportada	30
Papagayos	25	43	9	99	43	15	499	Autosoportada	36

Salto	Azimut [°]		Distancia [km]	Altura de antena [m]		Línea de vista	ASNMM [m]	
	1	2		1	2			
De El Potosí a Papagayos	28.72	208.72	107.05	30	30	si	3700	499

Tabla 8.1 Características técnicas y geográficas del salto El Potosí a Papagayos

El salto entre estos dos sitios es de una longitud de 107.05 km, por lo que sobrepasa la distancia máxima para establecer un enlace en la banda de 7 GHz que es de aproximadamente 70 km. El hecho de que los saltos no puedan ser mayores de esta longitud viene limitada por la disponibilidad del enlace, ya que a mayor distancia menor disponibilidad, y en este estudio se fija el cumplir con una disponibilidad de 99.999% como mínimo. En este caso, al no cumplir con la distancia, y por lo tanto con la disponibilidad, donde se tiene que utilizando antenas de 4.5 m de diámetro con ganancia de 48.1 dB para la antena principal y de 3 m de diámetro con ganancia de 44.7 dB para la antena secundaria, y radios de alta potencia HS-SD (Hot Standby Space Diversity) con ganancia de 30.3 dB, que es el máximo equipamiento permitido por la plataforma seleccionada, la disponibilidad es de 99.936%, por lo que se necesita establecer un sitio intermedio que permita dividir el salto largo en dos saltos más cortos que si cumplan con las características requeridas. Para localizar este sitio primero se recomienda buscar si existe algún sitio perteneciente a la red federal de microondas que pudiera servir. En este caso se encuentra el sitio Montemorelos que cumplió con las características necesarias.

Nombre	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNMM [m]	Tipo de Torre	ALT. [m]
	°	'	''	°	'	''			
Montemorelos	25	8	11	99	47	54	490	Autosoportada	55

Salto	Azimut [°]		Distancia [km]	Altura de antena [m]		Línea de vista	ASNMM [m]	
	1	2		1	2			
De El Potosí a Montemorelos	56.28	236.28	52.72	20	20	si	3700	490
Montemorelos a Papagayos	6.87	186.87	65.09	20	20	si	490	499

Tabla 8.2 Sitio Montemorelos

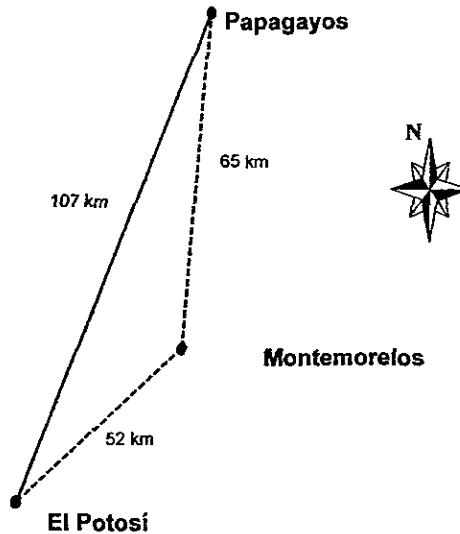


Figura 8.3 Salto El Potosí a Papagayos

Los cálculos de la disponibilidad de los saltos se tendrán que efectuar de acuerdo como se explicó en el capítulo 6, donde se presenta el ejemplo del salto El Potosí a Montemorelos. En el ejemplo los saltos propuestos cumplen con las características necesarias para el buen funcionamiento de la red. Los resultados de los cálculos de disponibilidad correspondientes se pueden ver en la tabla 8.7, donde los saltos El Potosí a Montemorelos y Montemorelos a Papagayos tienen una disponibilidad de 99.99978%.

A lo largo de la red nacional actual se encuentra otro salto que no cumple con las características necesarias. Este es el que va de El Rosal, Estado de México, a Cimatario, Querétaro, ya que tiene una longitud de 86 km. Calculando la disponibilidad con antenas primarias de 4.5 m de diámetro y 48.1 dB de ganancia y antenas secundarias de 3 m con 44.7 dB, y con radios de alta potencia HS-SD de 30.3 dB de ganancia, se tiene que es de 99.993%, por lo que no cumple con el mínimo de 99.999%. En este caso se buscó algún sitio de la red federal de microondas que pudiera servir, más no se encontró, por lo que tomando en cuenta la orografía de la zona se encontró que ubicando el sitio en las inmediaciones de San Juan del Río, Querétaro funciona adecuadamente por lo que se propone integrarlo a la red. El sitio cumple con los cálculos de disponibilidad que se pueden consultar en la tabla 8.7, donde el salto El Rosal a San Juan del Río tiene una disponibilidad de 99.99973% y el salto San Juan del Río a Cimatario de 99.99972%.

Nombre	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNM [m]	Tipo de Torre	ALT. [m]
	°	'	"	°	'	"			
El Rosal	20	6	51	99	39	51	2902	Arriostrada	53
Cimatario	20	31	44	100	21	38	2297	Autosoportada	70
S. Juan del R.	20	20	45	99	56	42	2223	Autosoportada	33

Salto	Azimut [°]		Distancia [km]	Altura de antena [m]		Línea de vista	ASNM [m]	
	1	2		1	2			
De El Rosal a Cimatario	302.14	122.14	86	30	30	si	2902	2297
De El Rosal a S. Juan del R.	311.1	131.1	38.97	50	30	si	2902	2223
S. Juan del R. a Cimatario	294.97	114.97	47.87	30	50	si	2223	2297

Tabla 8.3 Salto El Rosal a Cimatario

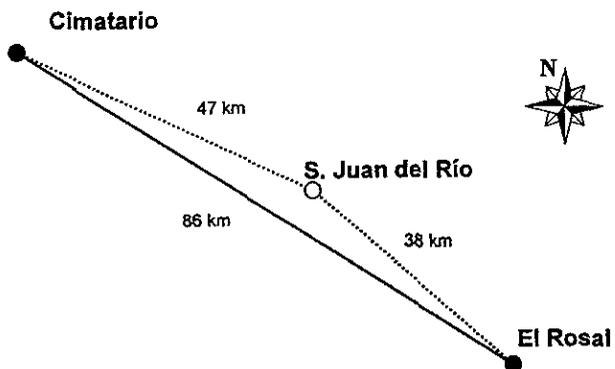


Figura 8.4 Salto El Rosal a Cimatario

8.5 INSTALACION DE LAS RUTAS CONCESIONADAS AUN NO INSTALADAS EN LA BANDA DE 7 GHz.

Como se mostró en el capítulo 3, véase el mapa del estado actual del back-bone figura 3.2, se cuenta con rutas concesionadas que no han sido instaladas, las cuales son las que van de C. Culiacán a Guadalajara, y de Puebla a Veracruz. Para poder proponer la integración de estas rutas a la red se necesita verificar que cumplen con las características necesarias de funcionalidad. Al hacer el análisis de los saltos que componen estas rutas se encontró que la ruta que va de C. Culiacán a Guadalajara cumple con las características necesarias para su instalación, como se puede apreciar en la tabla 8.7 de cálculos de disponibilidad, pero la ruta que va de Puebla a Veracruz no cumple en algunos saltos como se muestra a continuación. Donde los dos primeros saltos que van al sitio El Pinal I no tienen línea de vista y el último salto Cerro Gordo a Veracruz es de 80.94 km de largo por lo que se pasa de la distancia máxima permisible para este trabajo que es de 70 km.

Enlace	Azimut [°]		Distancia [km]	Altura de antena [m]		Línea de vista	ASNMM [m]	
	1	2					1	2
De Puebla a El Pinal I	72.97	252.97	29.81	—	—	No	2165	2619
De El Pinal I a Oriental	54.10	234.10	43.33	—	—	No	2619	2385
De Oriental a Perote	74.66	254.66	51.08	30	40	si	2385	3941
De Perote a Cerro Gordo	66.70	246.70	54.12	30	60	si	3941	1220
Cerro Gordo a Veracruz I	135.43	315.43	80.94	30	30	si	1220	5

Tabla 8.4 Ruta Puebla a Veracruz concesionada, no instalada.



Figura 8.5 Ruta Puebla a Veracruz

Como se muestra en la tabla 8.4, en los dos primeros saltos no existe línea de vista por lo que la ruta no es factible de realizar. Para solucionar este problema se propone modificar la ruta. El sitio el Pinal se propone que sea reubicado para tener la línea de vista necesaria hacia los sitios Puebla y Oriental. En este caso se propone en un lugar más alto donde será necesario abrir un camino para su acceso y llevar el servicio de energía eléctrica para su funcionamiento, en la tabla 8.4 y la figura 8.5 el sitio original se marca como El Pinal I y el sitio propuesto como El Pinal II. Con este cambio se pueden establecer los dos primeros saltos. El siguiente problema que se presenta es el salto de Cerro Gordo a Veracruz que tiene una longitud de más de 80 km por lo que es necesario buscar una alternativa, para lo que se propone el sitio Emiliano Zapata ubicado en la población del mismo nombre, el cual ofrece línea de vista hacia los sitios Perote y Veracruz. El sitio Veracruz se propone reubicarlo dentro de la ciudad para que tenga línea de vista con el sitio Emiliano Zapata, el sitio original en Veracruz se identifica como Veracruz I y el sitio propuesto como Veracruz II, esta manera de identificar los sitios solo es con la finalidad de distinguirlos en este análisis. El resultado del cálculo de la disponibilidad de los saltos propuestos se presentan en la tabla 8.7, donde se observa que cumplen con la disponibilidad requerida. Las coordenadas de los sitios propuestos omitiendo la extensión II, se presentan en la tabla 8.5.

Nombre	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNM [m]	Tipo de Torre	ALT. [m]
	°	'	"	°	'	"			
El Pinal	19	8	41	97	54	26	3200	Autosoportada	33
E. Zapata	19	21	46	96	39	21	430	Autosoportada	36
Veracruz	19	9	40	96	7	59	5	Autosoportada	55

Tabla 8.5 Sitios propuestos para la ruta Puebla a Veracruz.

8.6 ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS IMPORTANTES A INTERCONECTAR

Una vez efectuado el análisis para determinar que parte de la red existente se puede utilizar en las condiciones actuales, y planteados los cambios a la misma en donde no cumple con los nuevos requerimientos, se tendrán que establecer aquellos lugares que deberán ser cubiertos como nuevas necesidades. Para lo que se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Utilizar los resultados del departamento de mercadotecnia, el cual dictará la pauta para recomendar el crecimiento de la red hacia donde lo exija el mercado.
- Tomar en cuenta las principales rutas carreteras, ya que el servicio Trunking está orientado para dar servicio a las empresas y a sus vehículos. Hay que recordar que es conveniente explotar al máximo la concesión en radiofrecuencia que es, finalmente, la generadora de ingresos para una compañía.
- Es necesario obtener las concesiones de las frecuencias requeridas para transmisión del back-bone, gobierno si todavía no las otorga a alguna otra compañía, o con la empresa que las posea durante el tiempo que dura su concesión.
- Obtener las concesiones para brindar el servicio trunking en las diferentes ciudades y zonas a cubrir a futuro.

En nuestro caso el crecimiento de la red planteada se debe encaminar a dar servicio hacia el centro, occidente y norte del país ya que son las zonas de mayor crecimiento económico, y por lo tanto hacia donde crece la demanda del servicio. Algunas de las ciudades que proponemos para cubrir con el servicio al ampliar la red son las siguientes: Morelia, Guanajuato, León, Salamanca, Aguascalientes, Zacatecas, Cuernavaca, Iguala, Chilpancingo, Acapulco, Zihuatanejo, Lázaro Cárdenas y Toluca.

8.7 PLANTEAMIENTO DE LA RED EN FUNCIONAMIENTO NORMAL

Las características e información obtenida en los puntos 8.3, 8.4, 8.5, y 8.6 hasta el momento únicamente han sido preámbulos preparativos para el diseño de la red, ya que, nos indican las características que tendrá que cumplir la nueva red. Se debe tomar en cuenta que la red a nivel nacional, back-bone, tiene la finalidad de ser el conducto por el cual se unen las diferentes poblaciones y regiones del país, pero el servicio al usuario, es decir el servicio trunking se da a través de las redes locales de cada población o región. Por lo que cada sitio del back-bone tiene como función primaria el de ser repetidor del flujo de información y no el de ser el centro de una célula de radiofrecuencia, como sucede en las redes locales. Para plantear el nuevo back-bone, se tendrá que realizar un estudio donde se propone tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Tomar en cuenta la disponibilidad de frecuencias de transmisión en cada región al hacer el estudio correspondiente. Ya que para poder hacer el análisis de las rutas propuestas se tiene que tomar en cuenta la frecuencia de transmisión del back-bone para determinar el alcance máximo de los saltos.
- Analizar las rutas requeridas con cartas topográficas para ver si ya existe una red federal de microondas que cubra las rutas planteadas, con la finalidad de aprovechar los sitios con sus líneas de vista y su infraestructura, y si la hay, los saltos tendrán que ser revisados uno por uno, para comprobar que cumplen con las características necesarias para establecer los enlaces y la disponibilidad requerida.
- Si no existen rutas de la red federal de microondas o estas no cumplen con las necesidades planteadas, se propondrán los sitios con los criterios ya descritos con anterioridad, como son los de línea de vista, distancia y acceso. Con relación a la distancia que separa a los sitios unos de otros, hay que buscar que ésta sea lo mayor posible dentro de los límites marcados por la frecuencia de transmisión, la disponibilidad, y la infraestructura donde será montado el equipo, esto para tener el menor número de sitios repetidores y por lo tanto la ruta tenga menor costo de instalación. En el nuestro caso donde la frecuencia de transmisión es de 7 GHz se recomienda que la longitud de los saltos sea mayor de 50 km y menor de 70 km.
- Además de estos criterios se debe buscar en lo posible ubicar los sitios en las ciudades y los poblados más importantes, y seguir el trazo de las principales carreteras esto para que se cuente con todos los servicios requeridos para establecer un nuevo sitio. Al ubicar los sitios se recomienda el centro de las poblaciones para tener la posibilidad a futuro de que el sitio sea también una célula de radiofrecuencia en la zona. Si no es posible ubicar el sitio en el centro de la población se recomienda que no quede a una distancia mayor de 5 km de éste, tomando en cuenta que los equipos de radiofrecuencia tienen un alcance promedio de 10 km y tener aún la opción de instalar la célula, además de no perder la característica de contar en lo posible con los servicios requeridos para la instalación del sitio y no incrementar el costo de instalación.

- Con cierta frecuencia se da el caso de que no hay poblados en los que pueda instalarse un sitio que cumpla con la característica de ofrecer línea de vista hacia los sitios adyacentes de la ruta, en este caso se puede optar por poner el sitio fuera de un poblado, de preferencia sobre un camino para tener acceso al sitio, y si no es esto posible incluso, se puede instalar el sitio en un lugar que no tiene acceso ni servicios, los cuales tendrán que ser proporcionados y que van a incrementar el costo de la infraestructura del sitio, como son el abrir caminos y llevar energía eléctrica al lugar o instalar celdas solares con bancos de baterías.
- Una vez establecida la ubicación de los sitios seleccionados, se tendrán que llevar a cabo los cálculos de enlaces (conforme a lo expuesto en el capítulo 6), para verificar que los enlaces cumplen con la disponibilidad requerida. En este punto se puede observar que si el sitio tiene las características necesarias indicadas anteriormente la disponibilidad va a afectar el tipo de equipo específico para cada enlace según las características particulares de cada salto.

En la figura 8.6 se muestra el back-bone, red nacional en funcionamiento normal donde se proponen las rutas y los sitios para ampliar la red tomando en cuenta los criterios expuestos anteriormente. En esta figura se puede observar que se incluyen los sitios Montemorelos y San Juan del Río que dividen saltos demasiado largos. Las modificaciones propuestas a la ruta que va de Puebla a Veracruz. La ruta que va de CMX017 a Toluca. El salto de Cerro Culiacán a Morelia. La ruta que va de Cerro Culiacán a La Virgen, en esta ruta el sitio La Virgen queda cerca de la ciudad de Zacatecas, el sitio Los gallos cerca de la ciudad de Aguascalientes, el sitio León en la ciudad del mismo nombre, el sitio Cubilete cerca de la ciudad de Guanajuato, y el sitio La Cal cerca de la ciudad de Salamanca. También se presenta la ruta que va de CPTP (BB001) a Lázaro Cárdenas, en esta ruta el sitio Cuernavaca queda en la ciudad del mismo nombre, el sitio Tuxpan cerca de la ciudad de Iguala, el sitio Huiteco cerca de la ciudad de Chilpancingo, el sitio Acapulco en el puerto del mismo nombre, el sitio Zihuatanejo cerca de la ciudad del mismo nombre, y el sitio Lázaro Cárdenas cerca del puerto del mismo nombre.

Todos los saltos propuestos cumplen con los requerimientos marcados como pautas de diseño. En su mayor parte las rutas fueron obtenidas siguiendo la red federal de microondas y en los casos donde no era de utilidad o no existía ésta, proponiendo los sitios, siguiendo los criterios ya expuestos. El resultado de los cálculos de disponibilidad y las coordenadas de los sitios propuestos se presentan en la tablas 8.7 y 8.6 respectivamente.

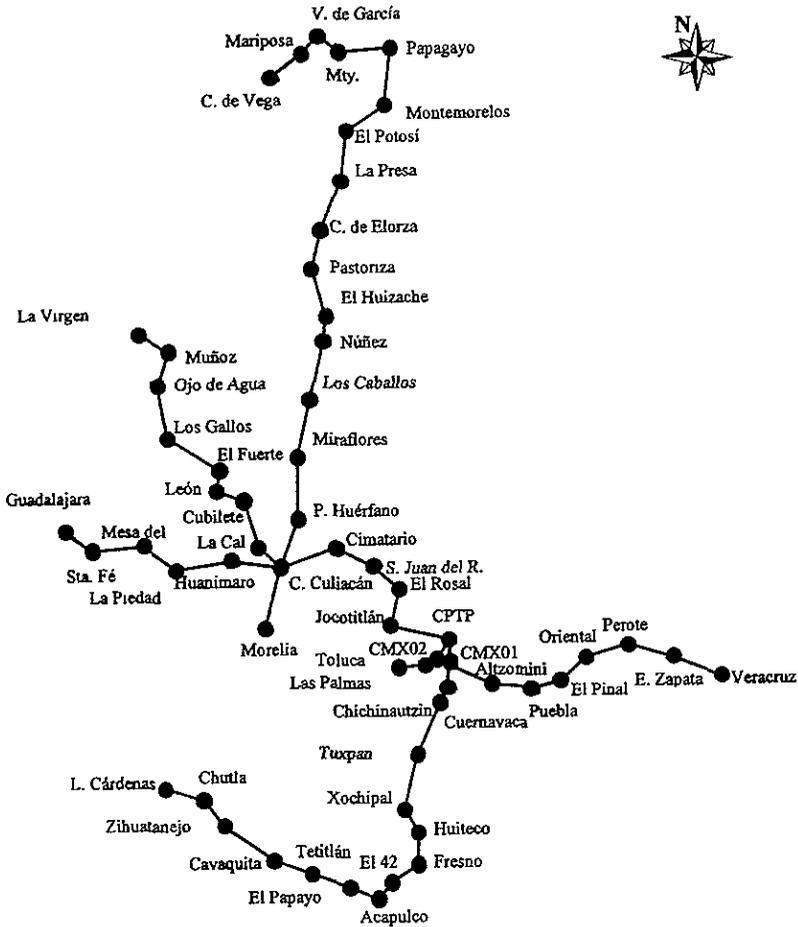


Figura 8.6 Red nacional en funcionamiento normal.

En la figura 8.6 se observa que el sitio Cerro Culiacán es un punto muy importante para la comunicación con Monterrey, Guadalajara y Zacatecas, por lo que se propone equiparlo con bancos de baterías exclusivos para los equipos de microondas del back bone, con una autonomía de 24 horas, con conmutación de 10 a 15 segundos a una planta generadora de energía eléctrica de emergencia.

8.8 ANILLOS

En el punto anterior se ha planteado un back-bone que cumple con los requerimientos de interconexión entre los diferentes lugares y regiones, plasmados como necesidades para nuestro diseño, pero tiene el inconveniente de que en caso de presentarse una falla en algún sitio o enlace originaría la pérdida de la comunicación de toda una región o área específica de la red, por lo que de la misma manera que en el caso de la red local descrita en el capítulo 7, se presenta la necesidad de establecer anillos que nos permitan tener un respaldo del canal de comunicación establecido por la red, creando rutas alternas de comunicación. Todo esto para aumentar la probabilidad de que todas las partes que conforman la red tengan comunicación con el centro de conmutación, que como se ha mencionado se encuentra en el sitio CMX017.

- Para proponer la creación de anillos en la red nacional hay que tomar en cuenta que los sitios en general solo son repetidores y no generan información a diferencia de los sitios en una red local de radiofrecuencia, por lo que no se necesita buscar respaldar a todos los sitios, solo los que generan información.
- Otra diferencia con una red local es que los sitios en la red nacional tienen que enlazar regiones distantes por lo que las rutas generalmente no están lo suficientemente cerca, o la orografía no permite, establecer enlaces entre diferentes rutas de manera sencilla tal como ocurre en las redes locales, donde se presentan diferentes posibilidades de enlace con cierta facilidad. Como consecuencia de esto los anillos se forman estableciendo rutas específicas para tal efecto aprovechando la topología actual de la red, y tomando en cuenta los sitios y rutas importantes que queramos respaldar.
- Dado que formar los anillos implica una inversión importante, se recomienda tratar de apegarse lo más posible a los criterios que se utilizaron para buscar el desarrollo de la red planteados en los puntos anteriores, donde se recomienda ubicar los sitios en poblaciones y ciudades importantes, y tratar de cubrir los tramos carreteros de mayor importancia. Buscando las regiones de mayor dinamismo económico presente y futuro. Estos criterios no siempre se pueden cumplir y la creación de las rutas para formar el anillo quedaría justificada por la importancia de los sitios y/o regiones a respaldar.
- El contar con una ruta alterna además de ofrecer la protección de la vía de comunicación ya descrita con anterioridad, también permite distribuir la densidad de información que se transmite a través de las rutas principales, permitiendo descongestionar a éstas últimas en un momento dado, fenómeno que se puede ir acentuando en la medida en que crece la red y tomando en cuenta que en principio, solo se cuenta con un solo centro de conmutación para todo el sistema ya que representa una inversión económica muy alta.
- La prioridad en la formación de anillos está determinada por la relación costo a beneficio que implica su instalación. Hay que tomar en cuenta que la inversión tiene que ser recuperada y por lo tanto no se puede crecer indiscriminadamente, esto nos lleva a que los anillos que proponemos en el presente trabajo están siendo

recomendados en un cierto orden según su conveniencia. En el mediano y largo plazo se pueden ir instalando, tomando en cuenta la demanda del servicio trunking.

A continuación se presentan los anillos propuestos. En la figura 8.7 se presenta la propuesta del anillo del centro, este anillo se forma al crear la ruta que va del sitio Toluca a Cerro Culiacán. Como se observa en la figura el salto que va de CPTP(BB001) a Jocotitlán y de Jocotitlán a El Rosal se sustituyen con el salto de CPTP a Coyotepec, un nuevo sitio que se incluye a la red, y de Coyotepec a El Rosal. En principio esto tiene la ventaja de que se elimina el salto CPTP(BB001) a Jocotitlán que tiene una longitud de 69 km y se sustituye por dos enlaces más cortos mejorando la disponibilidad. Por otra parte de esta manera se crean dos rutas independientes que van del sitio CMX017 a C. Culiacán, éste último sitio y la ruta misma son de una importancia fundamental ya que son el camino para comunicar las rutas que van hasta Guadalajara, Zacatecas y Monterrey. Con este anillo también se crean rutas alternas para proteger la comunicación con las ciudades de Toluca y Querétaro. Por su importancia y menor necesidad de inversión se recomienda dar prioridad a la creación de este anillo.



Figura 8.7 Anillo del Centro

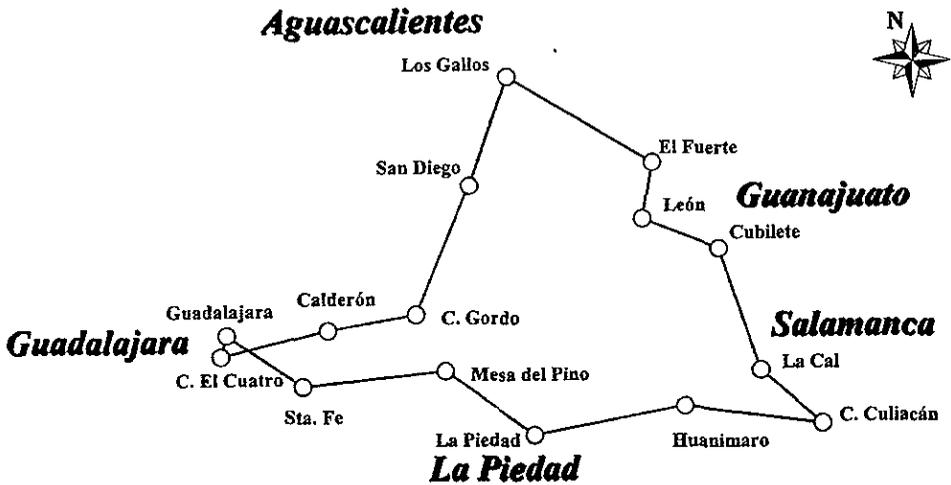


Figura 8.8 Anillo de Guadalajara.

En la figura 8.8 se presenta la propuesta para formar un anillo que protege las ciudades de Guadalajara, Aguascalientes y León. Este anillo se forma adicionando a la red los sitios C. El Cuatro, Calderón, C. Gordo y San Diego, y dan certidumbre de que el tráfico de estas ciudades tenga una ruta alterna para llegar al sitio C. Culiacán, punto importante para la comunicación hacia el centro de conmutación. A este anillo se le daría prioridad después del anterior en base de la importancia de la zona que respalda y de la inversión que implica instalar los nuevos sitios.



Figura 8.9 Anillo de Monterrey.

Como tercera prioridad para este trabajo en la formación de anillos se recomienda el anillo de Monterrey, que se muestra en la figura 8.9. Este anillo tiene la ventaja de dar respaldo a la ciudad de Monterrey, Saltillo, Zacatecas, Aguascalientes, León, San Luis Potosí, e incluso Guadalajara. También presenta la ventaja de ir formando la infraestructura necesaria para buscar el desarrollo de la red hacia la zona norte del país que tiene una importancia económica creciente. Para llevar a cabo la instalación de este anillo se propone eliminar el sitio Cerro de Vega como parte del back-bone por presentar problemas de línea de vista hacia el sur, incluir los sitios Ramos Arizpe, Cameros, Estanquitos, Berrendo, Codornices, El Rucio y Nueva Noria. El sitio Cameros presenta el inconveniente de estar ubicado a más de cuatro kilómetros de la carretera No. 54 que va a la ciudad de Saltillo, esto implica una inversión importante en la construcción de un camino de acceso al sitio y de llevar el suministro de energía eléctrica correspondiente; como se ha mencionado anteriormente se puede optar por instalar un sistema de paneles solares de alimentación. El sitio Estanquitos se ubica a dos y medio kilómetros del poblado Los Estanquitos, en este caso también se debe hacer una inversión en el camino para llegar al sitio y en el camino para llegar al poblado, ya que es una brecha, además de proveer el suministro de energía eléctrica. El sitio Berrendo se encuentra sobre una brecha que debe ser acondicionada y debe ser dotado de energía eléctrica, y finalmente el sitio El Rucio se localiza a cuatro y medio kilómetros de una brecha que va al pueblo del mismo nombre, en donde habrá que hacer un camino para llegar al sitio, acondicionar la brecha, y proveer la energía eléctrica. Como se observa la instalación de este anillo lleva una mayor inversión que los anteriores.

En la figura 8.10 se presenta el anillo del Golfo de México. Para formar este anillo se proponen los sitios Linares, Villagrán, Estación Cruz, Cd. Victoria, Las Fortunas, Zaragoza, Bernal, Manuel, Las Palmas, Cuauhtémoc, Alazán, El Bajío, Texixco, Guadalupe, Mecatepec, Hueytamalco y Martínez de la Torre. Con este anillo se da servicio a la zona del Golfo de México, a las ciudades de Poza Rica, Tampico, Cd. Madero, Cd. Victoria, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí e incluso Monterrey. Este anillo también reduce la dependencia de la comunicación hacia Guadalajara y Monterrey del sitio C. Culiacán que se ha convertido en un sitio demasiado importante dentro del sistema. A lo largo de la ruta propuesta que va del sitio Montemorelos al sitio Perote en general tiene alturas de torre muy altas incluso de hasta 60 m, ya que la orografía del lugar, prácticamente a nivel del mar, así lo exige. Como se observa, en esta ruta se proponen diecisiete sitios, lo que significa una muy importante inversión.

La figura 8.11 muestra el anillo que respalda la red en los estados de Guerrero y Michoacán. Para cerrar este anillo se propone la ruta que va del sitio La Piedad al sitio Lázaro Cárdenas, estos sitios son Gallinas, Quinceo, Nva. Italia, Las Peonías, La Cumbre y Buenavista. El sitio La Cumbre se encuentra a un kilómetro y medio del pueblo del mismo nombre, por lo que éste necesitará la construcción de un camino para llegar al sitio y el acondicionamiento de la brecha que hay para llegar al pueblo, así como el suministro de energía eléctrica; y el sitio las Peonías se encuentra a más de tres kilómetros del pueblo del mismo nombre y va a requerir de los mismos servicios que el sitio anterior. Como se observa la construcción de la ruta para formar el anillo implica una inversión importante. Con este anillo se respaldan las ciudades y puertos de

Cuernavaca, Chilpancingo, Acapulco y Lázaro Cárdenas. Además de ofrecer una ruta alterna para proteger la comunicación con Guadalajara, independientemente del sitio C. Culiacán.

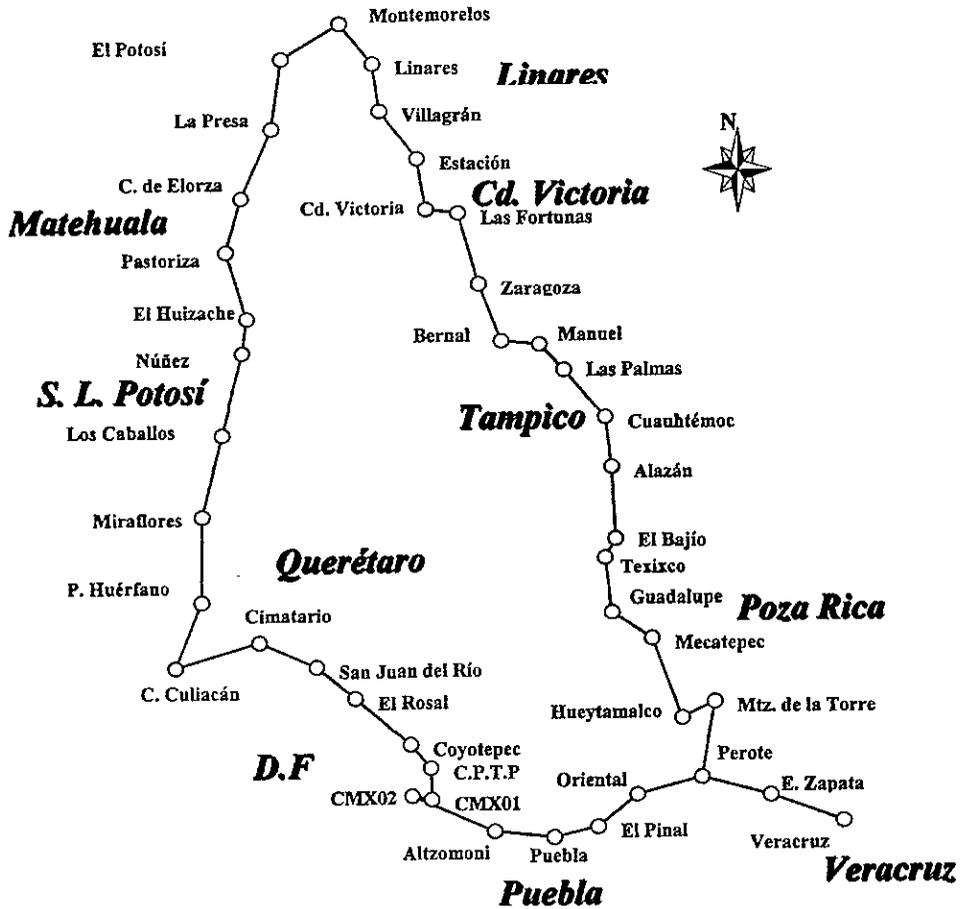


Figura 8.10 anillo del Golfo de México

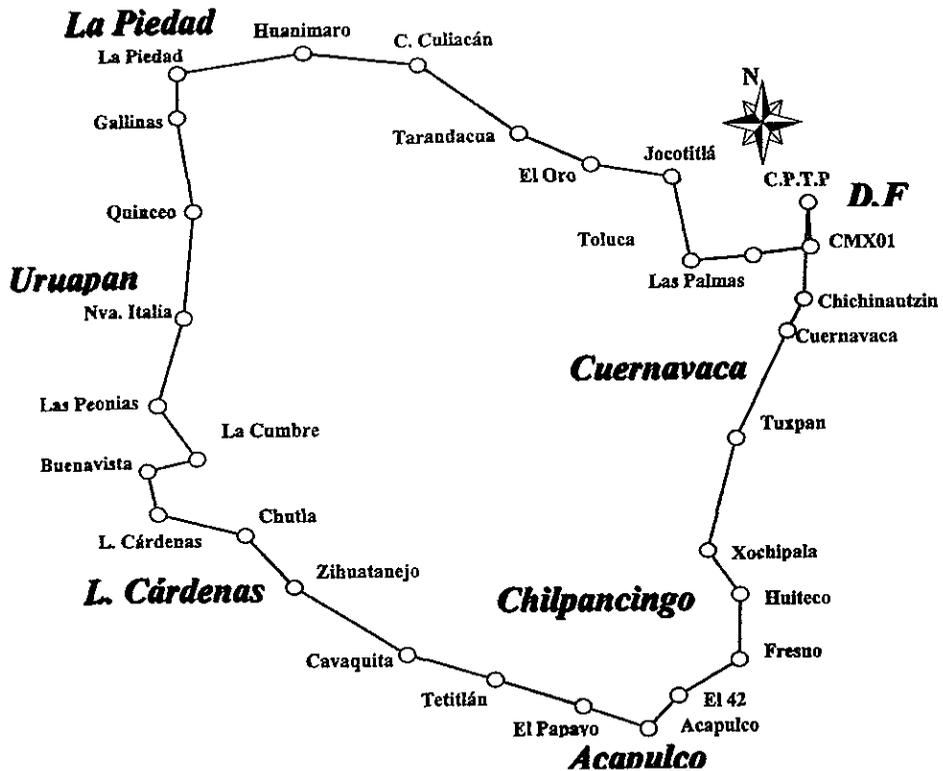


Figura 8.11 anillo de Lázaro Cárdenas.

Analizando la figura 8.2 (Propuesta del Back-Bone), en el caso del sitio de Morelia BB037 y el sitio de Veracruz BB055, podemos observar que no tienen respaldo en caso de falla por quedar fuera de algún anillo. Se pueden proteger rentando en el caso de Morelia cuatro E1's, de la red pública conmutada o alguna otra compañía, desde el sitio Morelia al sitio C. Culiacán BB006, y para el caso del sitio Veracruz rentando 4E1's desde el sitio Veracruz al sitio Perote BB053. De esta manera se respaldan los sitios aun bajo costo ya que la distancia de los enlaces rentados es relativamente corta.

Todos los enlaces propuestos a lo largo de este punto han sido analizados y cumplen con las características necesarias ya explicadas en este trabajo. El resultado de los cálculos de disponibilidad se presenta en la tabla 8.7 y las coordenadas de los sitios en la tabla 8.6.

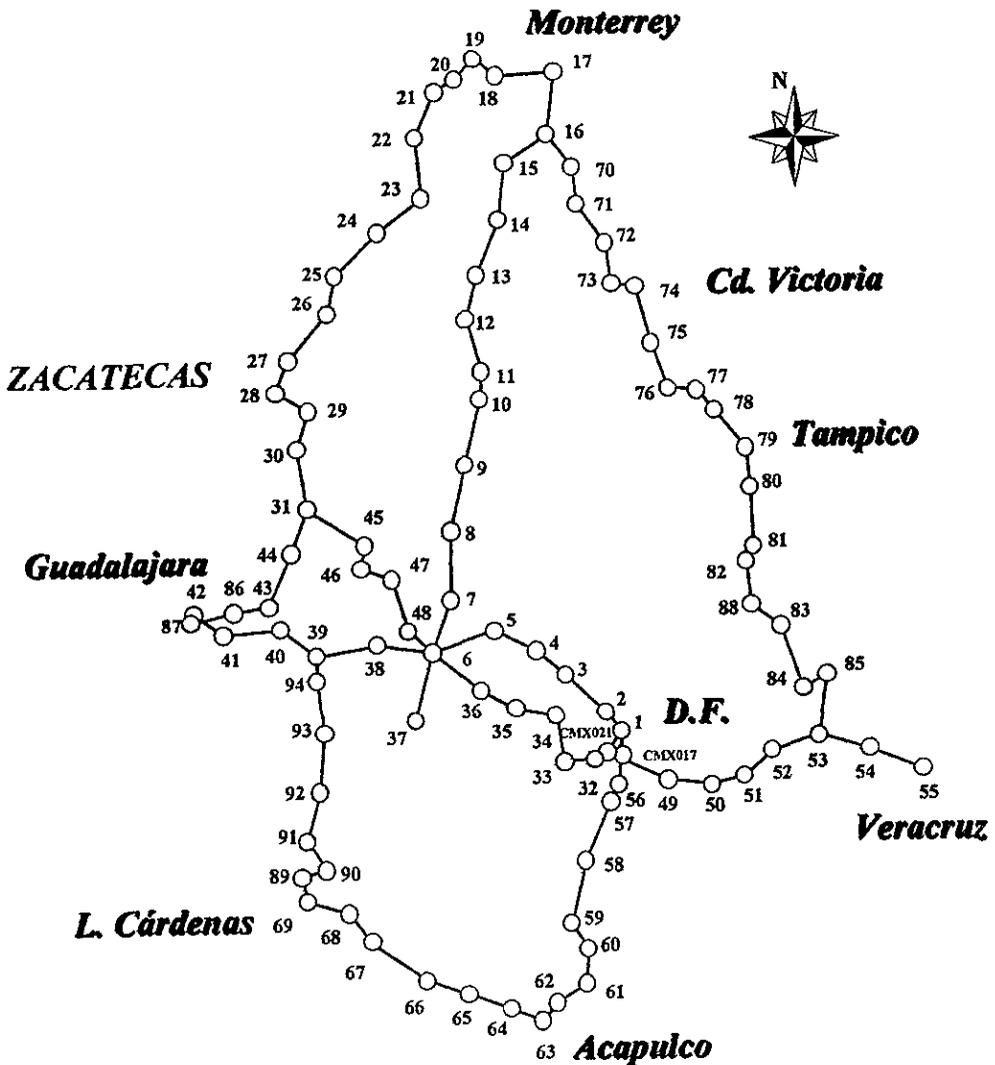


Figura 8.12 Propuesta del back-bone, red a nivel nacional.

Tabla 8.6 Localización de los sitios que componen el back-bone.

No. Sitio	Nombre	Localidad	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNM [m]	Tipo de Torre	Alt. [m]
			°	'	"	°	'	"			
1	CPTP	Edo. Méx.	19	35	22	99	6	56	2900	Autosoportada	70
2	Coyotepec	Edo. Méx.	19	45	54	99	15	45	2710	Arriostrada	33
3	El Rosal	Edo. Méx.	20	6	51	99	39	51	2902	Arriostrada	53
4	S. Juan del R.	Qro.	20	20	45	99	56	42	2223	Autosoportada	33
5	Cimatario	Qro.	20	31	44	100	21	38	2297	Autosoportada	70
6	C. Culliacán	Gto.	20	20	12	100	58	10	2796	Autosoportada	50
7	P. Huérfano	Gto.	20	49	31	100	46	59	2135	Arriostrada	33
8	Miraflores	Gto.	21	27	31	100	47	6	2081	Arriostrada	33
9	Los Caballos	S.L.P.	22	4	5	100	38	50	2637	Arriostrada	30
10	Núñez	S.L.P.	22	40	22	100	30	4	1528	Autosoportada	40
11	El Huizache	S.L.P.	22	55	42	100	28	13	1423	Autosoportada	40
12	Pastoriza	S.L.P.	23	25	26	100	37	54	1579	Autosoportada	30
13	C. de Elorza	N.L.	23	49	41	100	31	19	1912	Autosoportada	40
14	La Presa	N.L.	24	20	57	100	18	3	2176	Autosoportada	33
15	El Potosí	N.L.	24	52	22	100	14	0	3700	Autosoportada	30
16	Montemorelos	N.L.	25	8	11	99	47	54	490	Autosoportada	55
17	Papagayos	N.L.	25	43	9	99	43	15	499	Autosoportada	36
18	Mty.	N.L.	25	41	16	100	19	2	557	Autosoportada	60
19	V. de García	N.L.	25	50	46	100	32	58	994	Autosoportada	63
20	Mariposas	N.L.	25	40	3	100	44	42	1600	Autosoportada	63
21	R. Arizpe	Coah.	25	32	37	100	57	8	1384	Autosoportada	36
22	Cameros	Coah.	25	7	24	101	9	30	2530	Arriostrada	36
23	Estanquitos	Zac.	24	33	41	101	5	8	2891	Arriostrada	42
24	Berrendo	Zac.	24	14	13	101	32	26	2069	Arriostrada	42
25	Codomices	Zac.	23	49	39	101	57	54	2069	Arriostrada	75
26	El Rucío	Zac.	23	28	45	102	2	15	2027	Arriostrada	65
27	Nva. Noria	Zac.	23	2	9	102	25	31	2069	Arriostrada	43
28	La Virgen	Zac.	22	44	6	102	33	20	2708	Autosoportada	55
29	Muñoz	Zac.	22	34	6	102	13	35	2303	Autosoportada	36
30	Ojo de Agua	Ags.	22	12	32	102	20	4	2008	Arriostrada	60
31	Los Gallos	Jal.	21	39	30	102	13	27	2253	Autosoportada	40
32	Las Palmas	Edo. Méx.	19	19	32	99	22	49	3282	Autosoportada	33
33	Toluca	Edo. Méx.	19	18	10	99	40	35	2900	Autosoportada	33
34	Jocotitlán	Edo. Méx.	19	44	8	99	45	32	3800	Autosoportada	33
35	El Oro	Edo. Méx.	19	48	25	100	8	45	2932	Autosoportada	33
36	Tarandacuao	Gto.	19	58	18	100	29	19	2029	Autosoportada	36
37	Morelia	Mich.	19	42	12	101	8	30	2057	Autosoportada	33
38	Huanimaro	Gto.	20	24	23	101	31	0	2210	Arriostrada	33
39	La Piedad	Mich.	20	18	14	102	6	55	2450	Autosoportada	40
40	Mesa del Pino	Jal.	20	32	46	102	28	20	1918	Arriostrada	25
41	Sta. Fe	Jal.	20	29	20	103	2	20	2269	Autosoportada	40
42	Guadalajara	Jal.	20	40	53	103	20	27	1539	Autosoportada	40
43	C. Gordo	Jal.	20	45	31	102	35	21	2611	Autosoportada	36
44	San Diego	Jal.	21	14	50	102	22	39	1918	Autosoportada	33
45	El Fuerte	Jal.	21	19	47	101	38	44	2710	Arriostrada	36
46	León	Gto.	21	7	0	101	41	0	1797	Autosoportada	36

No Sitio	Nombre	Localidad	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNM [m]	Tipo de Torre	Alt. [m]
			°	'	"	°	'	"			
47	Cubilete	Gto.	21	0	44	101	22	46	2189	Autosoportada	25
48	La Cal	Gto.	20	32	27	101	12	58	1800	Autosoportada	25
49	Altzomoni	Edo. Méx.	19	7	11	98	39	13	4000	Autosoportada	43
50	Puebla	Pue.	19	4	17	98	13	32	2165	Autosoportada	40
51	El Pinal	Pue.	19	8	41	97	54	26	3200	Autosoportada	33
52	Oriental	Pue.	19	22	46	97	37	13	2385	Autosoportada	40
53	Perote	Ver.	19	30	3	97	9	5	3941	Autosoportada	43
54	E. Zapata	Ver.	19	21	46	96	39	21	430	Autosoportada	36
55	Veracruz	Ver.	19	9	40	96	7	59	5	Autosoportada	55
56	Chichinautzin	Mor.	19	5	18	99	8	39	3327	Autosoportada	40
57	Cuervavaca	Mor.	18	55	44	99	13	26	1524	Autosoportada	43
58	Tuxpan	Gro.	18	23	24	99	28	32	1558	Autosoportada	43
59	Xochipala	Gro.	17	48	41	99	37	16	1093	Autosoportada	43
60	Huileco	Gro.	17	34	55	99	28	16	1884	Autosoportada	35
61	Fresno	Gro.	17	14	59	99	28	45	1341	Autosoportada	43
62	El 42	Gro.	17	4	15	99	45	58	606	Autosoportada	43
63	Acapulco	Gro.	16	54	21	99	54	42	800	Autosoportada	35
64	El Papayo	Gro.	17	1	17	100	13	3	155	Arriostrada	35
65	Tetiltán	Gro.	17	9	45	100	37	44	85	Autosoportada	35
66	Cavaquita	Gro.	17	17	48	101	2	28	200	Autosoportada	45
67	Zihuatanejo	Gro.	17	38	57	101	34	9	187	Autosoportada	42
68	Chutla	Gro.	17	55	14	101	47	54	100	Autosoportada	33
69	L. Cárdenas	Mich.	18	1	54	102	12	23	76	Autosoportada	50
70	Linares	N.L.	24	50	23	99	32	54	400	Autosoportada	45
71	Villagrán	Tmps.	24	29	10	99	29	40	501	Autosoportada	60
72	Estación Cruz	Tmps.	24	7	17	99	12	49	226	Arriostrada	55
73	Cd. Victoria	Tmps.	23	44	17	99	8	40	314	Autosoportada	60
74	Las Fortunas	Tmps.	23	42	46	98	54	22	203	Arriostrada	60
75	Zaragoza	Tmps.	23	10	45	98	45	18	268	Arriostrada	43
76	Bernal	Tmps.	22	45	21	98	35	21	457	Arriostrada	36
77	Manuel	Tmps.	22	43	48	98	18	22	70	Arriostrada	36
78	Las Palmas	Tmps.	22	32	21	98	7	36	115	Arriostrada	46
79	Cuauhtémoc	Ver.	22	11	19	97	49	41	44	Autosoportada	50
80	Alazán	Ver.	21	48	57	97	47	4	71	Arriostrada	65
81	El Bajío	Ver.	21	16	50	97	45	39	362	Arriostrada	65
82	Texitco	Ver.	21	8	26	97	50	20	428	Autosoportada	40
83	Mecatepec	Ver.	20	32	10	97	30	2	204	Arriostrada	65
84	Hueytamalco	Pue.	19	56	30	97	17	21	900	Arriostrada	40
85	Mtz de la Torre	Ver.	20	3	38	97	3	4	81	Autosoportada	36
86	Calderón	Jal.	20	42	4	102	56	23	1629	Arriostrada	55
87	C. El Cuatro	Jal.	20	36	2	103	21	50	1817	Autosoportada	36
88	Guadalupe	Pue.	20	44	6	97	47	30	400	Arriostrada	55
89	Buenavista	Mich.	18	15	19	102	15	17	900	Autosoportada	50
90	La Cumbre	Mich.	18	19	3	102	1	21	1138	Arriostrada	35
91	Las Peonías	Mich.	18	35	26	102	12	27	1452	Arriostrada	35
92	Nva. Italia	Mich.	19	2	23	102	5	3	434	Autosoportada	45
93	Quinceo	Mich.	19	35	24	102	2	30	3294	Autosoportada	35

No. Sitio	Nombre	Localidad	Latitud Norte			Longitud Oeste			ASNM [m]	Tipo de Torre	Alt. [m]
			°	'	"	°	'	"			
94	Gallinas	Mich.	20	4	22	102	6	55	2167	Autosoportada	33

---	CMX 017	D.F.	19	21	31	99	6	28	2214	Autosoportada	40
---	CMX 021	D.F.	19	23	2	99	15	0	2511	Autosoportada	40

Figura 8.7 Resultado del cálculo de disponibilidad de los enlaces que componen el back-bone.

Enlace		Nombre	No.	Longitud [km]	Azimut [°]	Equipo	Potencia [dB]	Antena Principal		Antena Secundaria		Redondeo	L T P [m]	L T S [m]	Disponibilidad	
No.	Nombre							Diámetro [m]	Altura [m]	Diámetro [m]	Altura [m]					
---	CMX 017	1	CPTP	25.57	358.17	HS-SD	27.3	1.8 / 40.5	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	99.99983%	
1	CPTP	2	CMX 017	24.81	178.17	HS-SD	27.3	1.8 / 40.5	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	99.99974%	
2	Coyotepec	1	CPTP	57.12	321.58	HS-SD	30.3	1.8 / 40.5	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	99.99967%	
3	Coyotepec	3	El Rosal	38.97	312.52	HS-SD	27.3	3.7 / 46.7	30	3.7 / 46.7	20	No	40	30	99.99973%	
4	Sn. Juan del R.	4	Sn. Juan del R.	47.87	311.1	HS-SD	27.3	3.7 / 46.7	30	3.7 / 46.7	20	No	40	30	99.99972%	
5	Cimatario	5	Cimatario	67.02	131.1	HS-SD	30.3	3.7 / 46.7	30	3.7 / 46.7	20	No	40	30	99.99976%	
6	C.Culliacán	6	C.Culliacán	71.37	251.31	HS-SD	30.3	4.5 / 48.1	30	3.7 / 46.7	20	No	40	30	99.99970%	
6	C.Culliacán	37	Morelia	72.37	194.38	HS-SD	30.3	4.5 / 48.1	30	4.5 / 48.1	20	No	40	30	99.99970%	
37	Morelia	6	C.Culliacán	14.38	14.38											
---	CMX 017	32	Las Palmas	28.87	262.67	HS-SD	27.3	2.4 / 43	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	99.99991%	
32	Las Palmas	33	CMX 017	31.19	82.67	HS-SD	27.3	2.4 / 43	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	99.99984%	
33	Toluca	32	Las Palmas	48.66	85.32	HS-SD	27.3	2.4 / 43	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	99.99979%	
34	Jocotitlán	34	Jocotitlán	41.29	349.74	HS-SD	27.3	3.7 / 46.7	30	3 / 44.7	20	No	40	30	99.99971%	
35	El Oro	35	El Oro	40.33	169.74	HS-SD	27.3	3.7 / 46.7	30	3 / 44.7	20	No	40	30	99.99977%	
36	Tarandacuao	36	Tarandacuao	64.5	280.96	HS-SD	30.3	3 / 44.7	30	2.4 / 43	20	No	40	30	99.99966%	
6	C.Culliacán	6	C.Culliacán	128.71	100.96	HS-SD	30.3	3 / 44.7	30	2.4 / 43	20	No	30	40	99.99961%	
---	CMX 017	---	CMX 021	15.14	280.58	HS-HS	27.3	2.4 / 43	30	---	---	No	40	---	99.99965%	
---	CMX 021	1	CPTP	26.79	100.58	HS-SD	27.3	2.4 / 43	30	---	---	No	40	---	99.99965%	
1	CPTP	---	CMX 021	211.79	31.79	HS-SD	27.3	1.8 / 40.5	20	1.2 / 37	10	No	30	20	99.99965%	

No.	Enlace		Longitud [km]	Azmut [°]	Equipo	Potencia [dB]	Antena Principal		Antena Secundaria		Radio	LTP [m]	LTS [m]	Disponibilidad
	Nombre	Nc.					Nombre	Nc.	Diámetro [m]	Altura [m]				
6	C.Cullacán	7	P. Huérfano	57.46	HS-SD	30.3	3.7/46.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.999665%
7	P. Huérfano	6	C.Cullacán	199.73	HS-SD	30.3	3.7/46.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.999665%
7	P. Huérfano	8	Miraflores	359.83	HS-SD	30.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.999601%
8	Miraflores	7	P. Huérfano	179.83	HS-SD	30.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.999601%
8	Miraflores	9	Los Caballos	11.9	HS-SD	30.3	3.7/46.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.999877%
9	Los Caballos	8	Miraflores	191.9	HS-SD	30.3	3.7/46.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.999877%
9	Los Caballos	10	Núñez	182.64	HS-SD	30.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.999677%
10	Núñez	9	Los Caballos	192.64	HS-SD	27.3	1.8/40.5	36	1.2/37	26	No	46	36	99.999811%
10	Núñez	11	El Huizache	6.38	HS-SD	27.3	1.8/40.5	36	1.2/37	26	No	46	36	99.999811%
11	El Huizache	10	Núñez	186.38	HS-SD	27.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.999711%
11	El Huizache	12	Pastoriza	343.21	HS-SD	27.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.999711%
12	Pastoriza	11	El Huizache	163.21	HS-SD	27.3	2.4/43	20	2.4/43	10	No	30	20	99.99973%
12	Pastoriza	13	C. de Eiorza	14.02	HS-SD	27.3	2.4/43	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99973%
13	C. de Eiorza	12	Pastoriza	194.02	HS-SD	27.3	3.7/46.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99984%
13	C. de Eiorza	14	La Presa	62.02	HS-SD	27.3	3.7/46.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99984%
14	La Presa	13	C. de Eiorza	201.24	HS-SD	27.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99984%
14	La Presa	15	El Potosí	58.37	HS-SD	27.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99984%
15	El Potosí	14	La Presa	186.71	HS-SD	27.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99984%
15	El Potosí	16	Montemorelos	52.72	HS-SD	27.3	3/44.7	20	2.4/43	10	No	30	20	99.99978%
16	Montemorelos	15	El Potosí	236.28	HS-SD	27.3	3/44.7	20	2.4/43	10	No	30	20	99.99978%
16	Montemorelos	17	Papagayos	65.09	HS-SD	30.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99978%
17	Papagayos	16	Montemorelos	186.87	HS-SD	30.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99972%
17	Papagayos	18	Monterrey	286.54	HS-SD	30.3	3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99972%
18	Monterrey	17	Papagayos	86.54	HS-SD	30.3	3/44.7	50	3/44.7	40	No	60	50	99.99972%
18	Monterrey	19	V. de García	306.93	HS-SD	27.3	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99981%
19	V. de García	18	Monterrey	126.93	HS-SD	27.3	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99981%
19	V. de García	20	Manposas	27.8	HS-SD	30.3	1.8/40.5	50	1.2/37	40	No	60	50	99.99992%
20	Manposas	19	V. de García	44.71	HS-SD	30.3	1.8/40.5	55	1.2/37	45	No	65	55	99.99992%
20	Manposas	21	R. Atizpe	236.56	HS-HS	27.3	3/44.7	30	-----	-----	No	40	-----	99.99966%
21	R. Atizpe	20	Manposas	56.56	HS-SD	27.3	3/44.7	30	-----	-----	No	40	-----	99.99966%
21	R. Atizpe	22	Cameros	203.98	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99975%
22	Cameros	21	R. Atizpe	23.98	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99975%
22	Cameros	23	Estanquitos	173.24	HS-SD	27.3	3.7/46.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99969%
23	Estanquitos	22	Cameros	353.24	HS-SD	27.3	3.7/46.7	40	3/44.7	30	No	50	40	99.99969%

No.	Enlace		Longitud [km]	Azimut [°]	Equipo	Potencia [dB]	Antena Principal		Antena Secundaria		Radio	L T P [m]	L T S [m]	Disponibilidad
	No.	Nombre					Diámetro [m]	Altura [m]	Diámetro [m]	Altura [m]				
23	24	Berrendo	58.47	232	HS-SD	27.3	3.7/46.7	40	3/44.7	30	No	50	40	99.99978%
24	23	Berrendo		52			3.7/46.7	40	3/44.7	30	No	50	40	
24	25	Berrendo	62.57	223.51	HS-SD	27.3	3.7/46.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99969%
25	24	Berrendo		43.51			3.7/46.7	30	3/44.7	20	No	50	40	
25	26	Codornices	39.28	190.84	HS-SD	30.3	2.4/43	70	1.8/40.5	80	No	80	90	99.99980%
26	25	Codornices		10.84			2.4/43	50	1.8/40.5	60	No	60	70	
26	27	El Rucio	63.16	218.87	HS-SD	30.3	3.7/46.7	60	3/44.7	50	No	70	60	99.99983%
27	26	El Rucio		38.87			3.7/46.7	40	3/44.7	30	No	50	40	
27	28	Nva. Noria	35.89	201.84	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99988%
27	27	Nva. Noria		21.84			2.4/43	50	1.8/40.5	40	No	60	50	
28	29	La Virgen	38.54	118.55	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99986%
28	28	La Virgen		298.55			2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	
29	29	Muñoz					2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	
29	30	Ojo de Agua	41.4	195.6	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99962%
30	29	Muñoz		15.6			2.4/43	50	1.8/40.5	40	No	60	50	
30	31	Ojo de Agua	61.97	169.39	HS-SD	30.3	3.7/46.7	36	3.7/46.7	26	No	46	36	99.99967%
31	30	Los Gallos		349.39			3.7/46.7	36	3.7/46.7	26	No	46	36	

6	C. Cullacán		57.58	277.6	HS-SD	27.3	4.5/48.1	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99970%
38	Huanimaro	6		97.6			4.5/48.1	20	3/44.7	10	No	30	20	
38	Huanimaro	39	63.58	259.6	HS-SD	30.3	3.7/46.7	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99973%
39	La Piedad	38		79.6			3.7/46.7	20	3.7/46.7	10	No	30	20	
39	La Piedad	40	45.9	305.68	HS-SD	27.3	3/44.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99964%
40	Mesa del Pino	39		125.68			3/44.7	20	3/44.7	10	No	30	20	
40	Mesa del Pino	41	59.45	263.78	HS-SD	30.3	3.7/46.7	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99984%
41	Sta. Fe	40		83.78			3.7/46.7	20	3.7/46.7	10	No	30	20	
41	Sta. Fe	42	37.99	304.04	HS-SD	27.3	3/44.7	36	2.4/43	26	No	46	36	99.99981%
42	Guadalajara	41		124.04			3/44.7	36	2.4/43	26	No	46	36	
42	Guadalajara	87	0.27	195.02	HS-HS	27.3	1.8/40.5	30	-----	-----	No	40	-----	99.99990%
87	C. El Cuatro	42		15.02			1.8/40.5	30	-----	-----	No	40	-----	
87	C. El Cuatro	86	45.59	75.79	HS-SD	30.3	3/44.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99982%
86	Calderón	87		255.79			3/44.7	50	3/44.7	40	No	60	50	
86	Calderón	43	37.08	80.05	HS-SD	30.3	1.8/40.5	50	1.8/40.5	40	No	60	50	99.99969%
43	C. Gordo	86		260.05			3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	
43	C. Gordo	44	66.37	22.1	HS-SD	30.3	3.7/46.7	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99983%
44	San Diego	43		202.1			3.7/46.7	30	3.7/46.7	20	No	40	30	

No.	Enlace		Longitud [km]	Azimut [°]	Equipo	Potencia [dB]	Antena Principal		Antena Secundaria		Radomo	L T P [m]	L T S [m]	Disponibilidad
	Nombre	No.					Nombre	Diámetro [m]	Altura [m]	Diámetro [m]				
44	San Diego	31	48.27	19.22	HS-SD	27.3	3.7/46.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99978%
31	Los Gallos	44		199.22			3.7/46.7	36	3/44.7	26	No	46	36	
31	Los Gallos	45	70.14	121.14	HS-SD	30.3	4.5/48.1	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99972%
45	El Fuerte	31		301.14			4.5/48.1	20	3.7/46.7	10	No	30	20	
45	El Fuerte	46	23.85	189.43	HS-SD	27.3	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99982%
46	León	45		9.43			1.8/40.5	30	1.2/37	10	No	30	20	
46	León	47	33.6	110.05	HS-SD	27.3	2.4/43	20	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99976%
47	Cubilete	46		290.05			2.4/43	20	1.8/40.5	10	No	30	20	
47	Cubilete	48	54.83	161.92	HS-SD	27.3	3.7/46.7	20	3/44.7	10	No	30	20	99.99963%
48	La Cal	47		341.92			3.7/46.7	20	3/44.7	10	No	30	20	
48	La Cal	6	34.26	131.24	HS-SD	27.3	2.4/43	20	1.8/40.5	10	No	30	20	99.99978%
6	C. Cuillacán	48		311.24			2.4/43	20	1.8/40.5	10	No	30	20	

---	CMX021	49	69.13	114.9	HS-SD	30.3	4.5/48.1	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99965%
49	Atizomoni	---		294.9			4.5/48.1	40	3.7/46.7	30	No	50	40	
49	Atizomoni	50	45.39	96.7	HS-SD	27.3	3/44.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99972%
50	Puebla	49		276.7			3.7/46.7	30	3/44.7	20	No	40	30	
50	Puebla	51	34.47	76.32	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99965%
51	El Pinal	50		256.32			2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	
51	El Pinal	52	39.81	49.21	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99979%
52	Oriental	51		229.21			3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	
52	Oriental	53	51.08	74.98	HS-SD	30.3	3.7/46.7	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99969%
53	Perote	52		254.66			2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	
53	Perote	54	54.28	106.28	HS-SD	30.3	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99961%
54	E. Zapata	53		286.28			4.5/48.1	30	3.7/46.7	20	No	40	30	
54	E. Zapata	55	59.29	112.02	HS-SD	30.3	4.5/48.1	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99974%
55	Veracruz	54		292.02			3.7/46.7	50	3/44.7	40	No	60	50	

1	CPTP	56	55.52	183.1	HS-SD	27.3	3.7/46.7	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99963%
56	Chichinautzin	1		3.1			3.7/46.7	30	3.7/46.7	20	No	40	30	
56	Chichinautzin	57	19.61	205.42	HS-SD	27.3	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99979%
57	Cuernavaca	56		26.42			1.2/37	30	1.2/37	20	No	40	30	
57	Cuernavaca	58	65.23	203.95	HS-SD	30.3	4.5/48.1	40	4.5/48.1	30	No	50	40	99.99967%
58	Tuxpan	57		23.95			3.7/46.7	40	3.7/46.7	30	No	50	40	

Enlace		Longitud [km]	Azimut [°]	Equipo	Potencia [dB]	Antena Principal		Antena Secundaria		Radio	L T P [m]	L T S [m]	Disponibilidad
No.	Nombre					No.	Nombre	Diámetro [m/dB]	Altura [m]				
58	Tuxpan	65.93	193.5	HS-SD	30.3	3.7/46.7	35	3.7/46.7	25	No	45	35	99.99970%
59	Xochipala	13.5	13.5	HS-SD	27.3	4.5/48.1	35	4.5/48.1	25	No	45	35	99.99986%
59	Xochipala	29.94	147.9	HS-SD	27.3	2.4/43	40	1.8/40.5	30	No	50	40	99.99986%
60	Huiteco	327.9	327.9	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99967%
60	Huiteco	36.81	161.33	HS-SD	27.3	2.4/43	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99967%
61	Fresno	1.33	1.33	HS-SD	27.3	2.4/43	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99984%
61	Fresno	36.4	236.99	HS-SD	27.3	3/44.7	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99984%
62	El 42	56.99	56.99	HS-SD	27.3	3/44.7	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99990%
62	El 42	220.3	220.3	HS-SD	27.3	1.8/40.5	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99990%
63	Acapulco	23.91	40.3	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99990%
63	Acapulco	34.97	291.39	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99990%
64	El Papayo	111.39	111.39	HS-SD	30.3	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	99.99979%
64	El Papayo	46.54	289.57	HS-SD	30.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99979%
65	Teitlán	109.57	109.57	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99982%
65	Teitlán	288.65	288.65	HS-SD	27.3	3/44.7	40	3/44.7	20	No	40	30	99.99982%
66	Cavaquita	46.32	108.65	HS-SD	27.3	3/44.7	40	3/44.7	30	No	50	40	99.99971%
66	Cavaquita	68.27	304.74	HS-SD	30.3	4.5/48.1	35	3.7/46.7	25	No	45	35	99.99971%
67	Zihuatanejo	124.74	124.74	HS-SD	27.3	4.5/48.1	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99979%
67	Zihuatanejo	38.59	320.99	HS-SD	27.3	3/44.7	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99979%
68	Chutla	140.99	140.99	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99962%
68	Chutla	44.98	285.82	HS-SD	27.3	3/44.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99962%
69	L. Cárdenas	105.82	105.82	HS-SD	27.3	3/44.7	30	3/44.7	20	No	40	30	99.99992%
69	L. Cárdenas	25.24	348.32	HS-SD	27.3	1.8/40.5	45	1.2/37	35	No	55	45	99.99992%
89	Buenavista	168.32	168.32	HS-SD	27.3	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99992%
89	Buenavista	25.54	74.29	HS-SD	27.3	1.8/40.5	45	1.2/37	35	No	55	45	99.99992%
90	La Cumbre	254.29	254.29	HS-SD	27.3	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99981%
90	La Cumbre	35.94	327.08	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99981%
91	Las Peonías	147.08	147.08	HS-SD	27.3	2.4/43	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99967%
91	Las Peonías	51.39	14.63	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99967%
92	Nva. Italia	194.63	194.63	HS-SD	27.3	3/44.7	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99969%
92	Nva. Italia	61.14	4.19	HS-SD	27.3	3.7/46.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99969%
93	Quinceo	184.19	184.19	HS-SD	27.3	3.7/46.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99960%
93	Quinceo	53.98	351.78	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99960%
94	Gallinas	171.78	171.78	HS-SD	27.3	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99960%

No.	Enlace		Longitud [km]	Azimut [°]	Equipo	Potencia [dB]	Antena Principal		Antena Secundaria		Radomo	L T P [m]	L T S [m]	Disponibilidad
	Nombre	No.					Nombre	No.	Diámetro [m]	Altura [m]				
94	Gallinas	39	La Piedad	25.55	0	27.3	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99994%
39	La Piedad	94	Gallinas	180	180	27.3	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	
16	Montemorelos	70	Linares	41.44	142.42	HS-SD	2.4/43	50	2.4/43	40	No	60	50	99.99978%
70	Linares	16	Montemorelos	322.42	322.42	HS-SD	2.4/43	30	2.4/43	20	No	40	30	
70	Linares	71	Villagrán	39.56	171.66	HS-SD	2.4/43	40	1.8/40.5	30	No	50	40	99.99978%
71	Villagrán	70	Linares	351.66	351.66	HS-SD	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	
71	Villagrán	72	Estación Cruz	49.28	145	HS-SD	2.4/43	50	2.4/43	40	No	60	50	99.99970%
72	Estación Cruz	71	Villagrán	325	325	HS-SD	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	
72	Estación Cruz	73	Cd. Victoria	43.04	170.57	HS-SD	2.4/43	50	2.4/43	40	No	60	50	99.99988%
73	Cd. Victoria	72	Estación Cruz	350.57	350.57	HS-SD	2.4/43	50	2.4/43	40	No	60	50	
73	Cd. Victoria	74	Las Fortunas	24.46	96.52	HS-SD	1.8/40.5	50	1.2/37	40	No	60	50	99.99990%
74	Las Fortunas	73	Cd. Victoria	276.52	276.52	HS-SD	1.8/40.5	50	1.2/37	40	No	60	50	
74	Las Fortunas	75	Zaragoza	61.07	165.33	HS-SD	3/44.7	39	3/44.7	29	No	49	39	99.99971%
75	Zaragoza	74	Las Fortunas	345.33	345.33	HS-SD	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	
75	Zaragoza	76	Bernal	49.87	160.03	HS-SD	3/44.7	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99979%
76	Bernal	75	Zaragoza	340.03	340.03	HS-SD	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	
76	Bernal	77	Manuel	29.16	95.56	HS-SD	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99982%
77	Manuel	76	Bernal	275.56	275.56	HS-SD	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	
77	Manuel	78	Las Palmas	28.09	138.85	HS-SD	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99987%
78	Las Palmas	77	Manuel	318.85	318.85	HS-SD	1.8/40.5	30	1.2/37	20	No	40	30	
78	Las Palmas	79	Cuauhtémoc	49.53	141.55	HS-SD	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99976%
79	Cuauhtémoc	78	Las Palmas	321.55	321.55	HS-SD	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	
79	Cuauhtémoc	80	Alazán	41.49	173.78	HS-SD	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	99.99964%
80	Alazán	79	Cuauhtémoc	353.78	353.78	HS-SD	2.4/43	40	2.4/43	30	No	50	40	
80	Alazán	81	El Bajío	99.38	177.63	HS-SD	4.5/48.1	60	3.7/46.7	50	No	70	60	99.99973%
81	El Bajío	80	Alazán	357.63	357.63	HS-SD	4.5/48.1	60	3.7/46.7	50	No	70	60	
81	El Bajío	82	Texcoco	17.5	207.59	HS-SD	1.2/37	30	1.2/37	20	No	40	30	99.99982%
82	Texcoco	81	El Bajío	27.59	27.59	HS-SD	1.2/37	30	1.2/37	20	No	40	30	
82	Texcoco	88	Guadalupe	45.11	173.75	HS-SD	2.4/43	30	2.4/43	20	No	40	30	99.99971%
88	Guadalupe	82	Texcoco	353.75	353.75	HS-SD	2.4/43	30	2.4/43	20	No	40	30	
88	Guadalupe	83	Mecatepec	37.48	125.92	HS-SD	2.4/43	50	1.8/40.5	40	No	60	50	99.99983%
83	Mecatepec	88	Guadalupe	305.92	305.92	HS-SD	2.4/43	30	1.8/40.5	20	No	40	30	
83	Mecatepec	84	Hueytamalco	69.4	161.41	HS-SD	4.5/48.1	30	3.7/46.7	20	No	40	30	99.99970%
84	Hueytamalco	83	Mecatepec	341.41	341.41	HS-SD	4.5/48.1	30	3.7/46.7	20	No	40	30	

No.	Enlace		Longitud [km]	Azimut [°]	Equipo	Potencia [dB]	Antena Principal		Antena Secundaria		Racomo	LTP [m]	LTS [m]	Disponibilidad
	Nombre	No.					Nombre	Díámetro [m/dB]	Altura [m]	Díámetro [m/dB]				
84	Hueytamalco	85	Mtz. De la Torre	28.09	HS-SD	27.3	1.8 / 40.5	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	98.99984%
85	Mtz. de la Torre	84	Hueytamalco	242.11			1.8 / 40.5	30	1.8 / 40.5	20	No	40	30	
85	Mtz. de la Torre	53	Perote	92.78	HS-SD	30.3	4.5 / 48.1	30	4.5 / 48.1	20	No	40	30	98.99983%
53	Perote	85	Mtz. De la Torre	9.61			3 / 44.7	30	3 / 44.7	20	No	40	30	

8.9 NODOS

Una vez establecidos los anillos de respaldo habrá que insertar nodos dentro de la red, que como ya se mencionó en la parte respectiva de nodos en la red local subcapítulo 7.2.5, son necesarios para poder efectuar los cambios de flujo de la información a través de la red. Se recomienda tomar los siguientes criterios para determinar los sitios que serán nodos.

- Se determinarán como nodos, aquellos sitios en los que converjan tres o más rutas.
- Se determinarán como nodos, aquellos sitios que se encuentran en ciudades o regiones donde se presta el servicio de radiofrecuencia trunking y que se quieran respaldar.

En la figura 8.13 se presenta la propuesta para ubicar los nodos en la red nacional. Como se recomendó anteriormente los nodos se ubicaron en los puntos donde convergen tres o más rutas, esto para poder modificar el flujo de la información entre las diferentes rutas que se encuentran en estos sitios. Los nodos restantes se colocaron en las ciudades que cuentan con una red local de radiofrecuencia trunking y que se desea respaldar, dándoles la posibilidad de esta manera cambiar el flujo normal de la información que pasa por ellas, y también de la información que se genera en esos sitios en caso de falla. En la tabla 8.8 se presentan los sitios del back bone que se proponen como nodos que prestan servicio trunking a alguna población o ciudad.

Tabla 8.8 Sitios propuestos como nodos que dan servicio trunking a alguna ciudad.

Sitio	Nombre	Ciudad a la que da servicio Trunking
BB005	Cimatario	Querétaro
BB033	Toluca	Toluca
BB037	Morelia	Morelia
BB009	Los Caballos	San Luis Potosí
BB018	Monterrey	Monterrey
BB021	Ramos Arizpe	Saltillo
BB042	Guadalajara	Guadalajara
BB046	León	León
BB031	Los Gallos	Aguascalientes
BB028	La Virgen	Zacatecas
BB073	Cd. Victoria	Cd. Victoria
BB079	Cuauhtémoc	Cuauhtémoc, Tampico, Cd. Madero
BB083	Mecatepec	Poza Rica
BB055	Veracruz	Veracruz

Sitio	Nombre	Ciudad a la que da servicio Trunking
BB050	Puebla	Puebla
BB057	Cuernavaca	Cuernavaca
BB060	Fresno	Chilpancingo
BB063	Acapulco	Acapulco
BB067	Zihuatanejo	Zihuatanejo
BB069	Lázaro Cárdenas	Lázaro Cárdenas
BB092	Nva. Italia	Nva. Italia

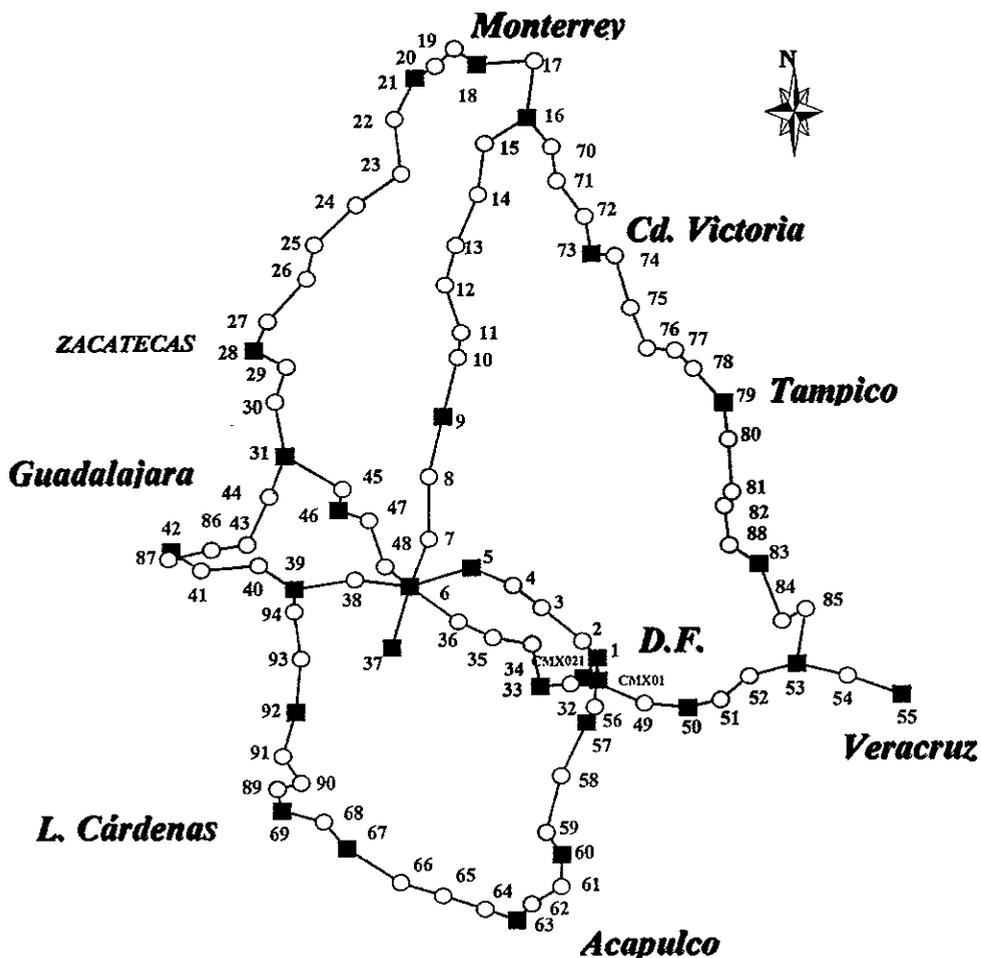


Figura 8.13 Back-bone con indicación de nodos.

8.10 CENTROS DE CONMUTACION

Estos puntos, como se ha descrito anteriormente, son los que se encargan de procesar y canalizar los bloques de información que se conducen a través de la red para poder establecer la comunicación entre los usuarios. El centro de conmutación es el responsable de recibir el flujo de información y canalizarlo hacia el destino deseado. Por ser el centro rector del funcionamiento de la red tiene un papel destacado en el funcionamiento de la misma y por lo tanto es de gran importancia dentro del sistema, además de significar una inversión cuantiosa su adquisición. Para elegir el sitio para ubicar un centro de conmutación se sugiere que sea en:

- Los nodos que puedan estar interconectados con una red local de magnitud o tamaño considerable.
- Los nodos que puedan representar un punto importante para el crecimiento futuro de la red nacional sobre la base de proyectos o expectativas futuras.

En la red nacional el centro de conmutación se ubica en la **Ciudad de México**, esto se justifica por la magnitud e importancia de la misma ciudad, y por la región del país, que también es de gran importancia económica y poblacional. La red nacional hasta el momento funciona adecuadamente con este centro de conmutación pero se propone que a futuro, con el crecimiento de la red y por ende del servicio a los clientes, sea necesario instalar otros más centros de conmutación para poder descongestionar el ya existente y para reducir la densidad de información que se movería a través de la red nacional. Tomando en cuentas las consideraciones expuestas anteriormente para ubicar los centros de conmutación, proponemos que sean instalados en las ciudades de **Guadalajara** y **Monterrey**, que tienen una importante red local trunking y que serían puntos importantes para apoyar el crecimiento de la red hacia el norte del país. Esta instalación sería en el punto en que la demanda del servicio lo exigiera y los planes de inversión de la empresa lo permitiera.

8.11 PROGRAMACION DE RUTA DE COMUNICACIÓN SIN FALLA

En los párrafos anteriores se han determinado todos los puntos importantes a determinar dentro de la red en integración nacional, en cuanto al establecimiento físico de la misma, pero nos queda pendiente un factor muy importante que es el establecimiento del como funcionara la red, para lo cual se tendrá que generar una tabla de conexión entre sitios, nodos y centros de conmutación, para que nuestra red pueda funcionar, para lo que se han determinado los siguientes criterios para el llenado de la misma, que están enfocados a poder tener una fácil proyección para que la información que se maneja sea respaldada en cualquier red de integración nacional:

- La información que se genera a partir de cada red local de trunking se recomienda enviarla primero al nodo más cercano sobre el back-bone para poder tener la posibilidad de cambiar su trayectoria normal en caso de presentarse una falla.
- Se debe plantear la ruta de comunicación de cada nodo al centro o centros de conmutación.
- Se tiene que considerar la capacidad del canal de comunicación, back-bone, para asegurar que tiene la capacidad suficiente para soportar la información que se pretende enviar a través de él.
- Se consideran las políticas gubernamentales y de la empresa concernientes a la administración del sistema, para elegir las trayectorias que llevarán la información hasta el o los centros de conmutación.

En la figura 8.14 se presenta el flujo de información por el back bone en el estado de funcionamiento normal de la red. Como se puede observar los sitios que no presentan un flujo indicado por las flechas, son sitios de respaldo, que entran en operación en caso de falla, dependiendo de la naturaleza de la misma y del esquema específico para solucionar el caso particular. El flujo de información normal fue determinado en base de las regiones geográficas en que se divide el territorio nacional para la comunicación inalámbrica según COFETEL (figura 3.1), para facilitar la administración del sistema en cada región. De tal forma que se procuró que los sitios que se encuentran dentro de la misma región estén integrados al mismo flujo de información. Las tablas de enrutamiento para la programación del flujo de información a través del back bone se hacen de manera similar a como se presentaron en el capítulo siete donde se describe la red de integración local, con la diferencia de que no todos los sitios del back bone generan información y muchos solo son repetidores.

8.12 REENRUTAMIENTO EN CASO DE FALLA

Una vez concluida la programación del funcionamiento de la red en forma normal, se tendrá que efectuar la programación de la misma en caso de falla. En la tabla 8.9 se presentan los sitios afectados en la red en funcionamiento normal en caso de falla de un enlace específico. Como se puede observar hay enlaces más importantes que otros en función de la cantidad de información que transmiten. Para cada caso de falla en particular, de cada enlace que conforma la red, se debe diseñar una tabla de enrutamiento, que aprovechando la infraestructura propuesta a lo largo de este trabajo, solucione el problema reenrutando la información por vías alternas dependiendo de la falla y las condiciones de operación de la red, de manera análoga a la obtenida en el subcapítulo 7.5 del presente trabajo.

No.	Enlace		Nombre	Sitios Afectados
	Nombre	No.		
—	CMX 017	1	CPTP	57,60,63,67,5,9,73,79,18,21,46,31,28
1	CPTP	2	Coyotepec	5,9,73,79,18,21,46,31,28
2	Coyotepec	3	El Rosal	5,9,73,79,18,21,46,31,28
3	El Rosal	4	Sn. Juan del R.	5,9,73,79,18,21,46,31,28
4	Sn. Juan del R.	5	Cimatario	5,9,73,79,18,21,46,31,28
5	Cimatario	6	C. Culiacán	9,73,79,18,21,46,31,28
6	C. Culiacán	37	Morelia	37
—	CMX 017	32	Las Palmas	33,37,92,69,42,
32	Las Palmas	33	Toluca	33,37,92,69,42,
33	Toluca	34	Jocotitlán	37,92,69,42,
34	Jocotitlán	35	El Oro	37,92,69,42,
35	El Oro	36	Tarandacuao	37,92,69,42,
36	Tarandacuao	6	C. Culiacán	37,92,69,42,
—	CMX 017	—	CMX 021	50,55,83
—	CMX 021	1	CPTP	Respaldo
6	C. Culiacán	7	P. Huérfano	9,73,79,18,21
7	P. Huérfano	8	Miraflores	9,73,79,18,21
8	Miraflores	9	Los Caballos	9,73,79,18,21
9	Los Caballos	10	Núñez	73,79,18,21
10	Núñez	11	El Huizache	73,79,18,21
11	El Huizache	12	Pastoriza	73,79,18,21
12	Pastoriza	13	C. de Elorza	73,79,18,21
13	C. de Elorza	14	La Presa	73,79,18,21
14	La Presa	15	El Potosí	73,79,18,21
15	El Potosí	16	Montemorelos	73,79,18,21
16	Montemorelos	17	Papagayos	18,21
17	Papagayos	18	Monterrey	18,21
18	Monterrey	19	V. de García	21
19	V. de García	20	Mariposas	21
20	Mariposas	21	R. Arizpe	21
21	R. Arizpe	22	Careros	Respaldo
22	Careros	23	Estanquitos	Respaldo
23	Estanquitos	24	Berrendo	Respaldo
24	Berrendo	25	Codornices	Respaldo

Enlace				Sitios Afectados
No.	Nombre	No.	Nombre	
25	Codomices	26	El Rucio	Respaldo
26	El Rucio	27	Nva. Noria	Respaldo
27	Nva. Noria	28	La Virgen	Respaldo
28	La Virgen	29	Muñoz	28
29	Muñoz	30	Ojo de Agua	28
30	Ojo de Agua	31	Los Gallos	28
6	C. Culiacán	38	Huanimaro	92,69,42,
38	Huanimaro	39	La Piedad	92,69,42,
39	La Piedad	40	Mesa del Pino	42
40	Mesa del Pino	41	Sta. Fe	42
41	Sta. Fe	42	Guadalajara	42
42	Guadalajara	87	C. El Cuatro	Respaldo
87	C. El Cuatro	86	Calderón	Respaldo
86	Calderón	43	C. Gordo	Respaldo
43	C. Gordo	44	San Diego	Respaldo
44	San Diego	31	Los Gallos	Respaldo
31	Los Gallos	45	El Fuerte	31,28
45	El Fuerte	46	León	31,28
46	León	47	Cubilete	46,31,28
47	Cubilete	48	La Cal	46,31,28
48	La Cal	6	C. Culiacán	46,31,28
----	CMX021	49	Altzomoni	50,55,83
49	Altzomoni	50	Puebla	50,55,83
50	Puebla	51	El Pinal	55,83
51	El Pinal	52	Oriental	55,83
52	Oriental	53	Perote	55,83
53	Perote	54	E. Zapata	55
54	E. Zapata	55	Veracruz	55
1	CPTP	56	Chichinautzin	57,60,63,67
56	Chichinautzin	57	Cuemavaca	57,60,63,67
57	Cuemavaca	58	Tuxpan	60,63,67
58	Tuxpan	59	Xochipala	60,63,67
59	Xochipala	60	Huíteco	60,63,67
60	Huíteco	61	Fresno	63,67
61	Fresno	62	El 42	63,67
62	El 42	63	Acapulco	63,67
63	Acapulco	64	El Papayo	67
64	El Papayo	65	Tetiltán	67
65	Tetiltán	66	Cavaquita	67
66	Cavaquita	67	Zihuatanejo	67
67	Zihuatanejo	68	Chutla	Respaldo
68	Chutla	69	L. Cárdenas	Respaldo
69	L. Cárdenas	89	Buenavista	69
89	Buenavista	90	La Cumbre	69
90	La Cumbre	91	Las Peonías	69
91	Las Peonías	92	Nva. Italia	69
92	Nva. Italia	93	Quinceo	92,69
93	Quinceo	94	Gallinas	92,69
94	Gallinas	39	La Piedad	92,69
16	Montemorelos	70	Linares	73,79
70	Linares	71	Villagrán	73,79

Enlace				Sitios Afectados
No.	Nombre	No.	Nombre	
71	Villagrán	72	Estación Cruz	73,79
72	Estación Cruz	73	Cd. Victoria	73,79
73	Cd. Victoria	74	Las Fortunas	79
74	Las Fortunas	75	Zaragoza	79
75	Zaragoza	76	Bernal	79
76	Bernal	77	Manuel	79
77	Manuel	78	Las Palmas	79
78	Las Palmas	79	Cauhtémoc	79
79	Cauhtémoc	80	Alazán	Respaldo
80	Alazán	81	El Bajío	Respaldo
81	El Bajío	82	Texico	Respaldo
82	Texico	88	Guadalupe	Respaldo
88	Guadalupe	83	Mecatepec	Respaldo
83	Mecatepec	84	Hueytamalco	83
84	Hueytamalco	85	Mtz. de la Torre	83
85	Mtz. de la Torre	53	Perote	83

Tabla 8.9 Sitios afectados en operación normal por falla de un enlace.

Conclusiones

La realización de este trabajo, surge de la necesidad de optimizar el medio por el cual se transmite el servicio de cada una de los sitios al centro de conmutación. Así como el de enlazar los diferentes centros de conmutación que deberán instalarse en las distintas ciudades del país; que en telecomunicaciones es conocida como red de transmisión.

Partiendo de las redes existentes se lograron establecer criterios para la planeación de las redes locales y de la red nacional, en las cuales además de optimizar las redes existentes se debe analizar para futuras ampliaciones de las mismas dando como resultado redes tipo malla; por otro lado aun cuando no se realizó la planeación y la construcción de las diferentes redes, se concluye la importancia de tener una logística bien documentada con los conceptos de adquisición, construcción de sitios y compra e instalación de equipos, ya que de no contar con dicha logística se puede llegar a un fracaso rotundo en la optimización o construcción de dichas redes.

APENDICE A

DECIBEL

El campo de la instrumentación electrónica en el mundo se ha ampliado a velocidades imprevistas. Constantemente se desarrollan nuevos aparatos y dispositivos de medición basados en tecnologías avanzadas, pero dentro de estos avances tecnológicos, permanecen inamovibles ciertos conceptos fundamentales que, precisamente por su naturaleza, hacen que el técnico especializado los menosprecie, o en el mejor de los casos no les concedan la importancia que se merecen. Un caso concreto es el relativo al decibel (abreviado dB), tan utilizado en las telecomunicaciones y que fue adoptado por primera vez en la Conferencia Internacional de Acústica, celebrada en París en 1937. Fue creado por los ingenieros de la empresa Bell Telephone System (USA), ante la necesidad que tenían de dar solución a algunos problemas que se presentaban en las líneas durante la transmisión de señales de una central a otra, como, por ejemplo, la pérdida de energía o atenuación de tales señales. También fueron esos ingenieros los que asignaron su nombre en honor de Alexander Graham Bell, inventor del teléfono. El decibel se define como un nivel de potencia dada, igual a diez veces el logaritmo común de la relación de una potencia dada, con respecto a otra potencia tomada como referencia. Es decir, se trata de una unidad logarítmica.

La anterior definición se originó por el hecho de que el oído humano responde de una manera logarítmica a los cambios en la intensidad del sonido. Dicho en otras palabras, un aumento, o una disminución en la intensidad sonora. Corresponde a la relación de las potencias involucradas y es prácticamente independiente del valor absoluto de dichas potencias. Por ejemplo, si una determinada persona estima que la intensidad sonora es del doble cuando se aumenta la potencia de un amplificador de 1 a 2 watts, también esa misma persona seguramente estimará que la intensidad sonora producida por el amplificador de 20 watts de potencia es el doble de la producida por otro amplificador con potencia de 10 watts.

Por otro lado, un cambio de decibel en el nivel de potencia produce una variación en la intensidad sonora apenas discernible por el oído humano en condiciones ideales.

La cantidad de decibeles correspondiente a la relación de dos potencias determinadas está dada por la siguiente ecuación:

$$dB = 10 \log (P_2 / P_1) = 10 \log ((E^2_2/R_2) / (E^2_1/R_1)) \quad A1$$

donde

$$P_2 / P_1 = \text{relación de los niveles de potencia que estan siendo comparados}$$

E_2 y E_1 = voltajes de señal que aparecen a través de las respectivas cargas R_2 y R_1

Sí $R_2 = R_1$

$$\text{dB} = 20 \log (E_2 / E_1) \quad \text{A2}$$

Sí $R_2 \neq R_1$

$$\text{dB} = 20 \log (E_2 / E_1) + 20 \log (R_1 / R_2) \quad \text{A3}$$

Las ecuaciones A2 y A3 indican que la medición de decibeles se relacionan también con la medición de voltajes y que es posible además efectuar operaciones de ganancia o pérdida de decibeles a partir de dichos voltajes. Con objeto de no efectuar operaciones aritméticas engorrosas, en los instrumentos dedicados a la medición de niveles de señal, se proveen escalas calibradas en decibeles, además de las usadas en la medición de voltajes.

La ecuación A1 muestra que el decibel no es una unidad absoluta, sino que refleja un cambio de potencia. Así el valor en dB representado por el cambio de dos potencias audibles de 1 mW a 10mW, respectivamente, sería:

$$\text{dB} = 10 \log (10/1) = 10$$

pero éste sería también el valor representado por un cambio de 10mW a 100mW, ó de 100mW a 1W, etc.

Por lo anterior se deduce que, a menos que se utilice algún nivel cero de referencia, las mediciones de dB no pueden usarse para reflejar niveles de potencia absoluta.

Esto es lo que ha dado paso a los diversos tipos de decibeles que hay actualmente en uso, al basarse en un diferente nivel cero todos ellos; y la escala en dB de un medidor determinado se relaciona ya sea con un tipo o con otro, cosa que es especificada por el fabricante del instrumento.

El dBm

En este trabajo se menciona el dBm ya que es el de mayor utilización en las telecomunicaciones. El dBm, cuyo nivel cero de referencia está basado en 1mW a través de una resistencia de carga específica. Como se estableció antes, la medición es básica en la determinación del decibel, por lo que se requerirá un factor de corrección si las mediciones se realizan a través de cualquier otra resistencia de carga que sea diferente a la utilizada en la escala de dB en que se están efectuando las mediciones.

En el caso del dBm, resulta sencillo calcular el voltaje necesario para producir 1mW sobre cualquier resistencia de carga, digamos 600 ohms.

$$E = (0.6)^{0.5} = 0.775 \text{ V}$$

También resulta fácil encontrar la cantidad de dB correspondiente a cualquier voltaje E en un determinado tipo de decibel. Por ejemplo, para el caso que nos ocupa del dBm sobre 600 ohms, el número de N de decibels sería.

$$N \text{ (dBm)} = 20 \log (E / 0.775)$$

O bien, sobre 50 ohms

$$N \text{ (dBm)} = 20 \log (E / 0.2236)$$

Ejemplos:

$$1\text{mW} = 0 \text{ dBm}$$

$$1 \text{ W} = 0 \text{ dBW}$$

$$+30 \text{ dBm} = 0 \text{ dBW} = 1\text{W}$$

$$-30 \text{ dBW} = 0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$$

$$+30 \text{ dBm} = 10 \log (1000\text{mW} / 1\text{mW})$$

El dBi

El dBi es utilizado como referencia en la ganancia de las antenas. El isotrópico es una referencia imaginaria para las antenas con una ganancia uniforme en las tres dimensiones.

Normalmente se encuentran antenas con ganancia de +33 dBi.

Ejemplos :

1. Un sistema de transmisión tiene una potencia de salida de 27 dBW y en la línea de transmisión se pierden 2.5 dB con una antena de ganancia de 39dBi
¿Cuál es la potencia de transmisión?

$$P_t = 27 \text{ dBW} - 2.5 \text{ dB} + 39 \text{ dBi} = +63.5 \text{ dBW}$$

2. Un sistema de transmisión tiene una potencia de salida de 27 dBm y en la línea de transmisión se pierden 2.5 dB con una antena de ganancia de 39dBi
¿Cuál es la potencia de transmisión?

$$P_t = 27 \text{ dBm} - 2.5 \text{ dB} + 39 \text{ dBi} = +63.5 \text{ dBm}$$

Como se observa en los ejemplos anteriores se facilitan las operaciones con los dBs.

APÉNDICE B

TORRES Y SUS CARACTERÍSTICAS

Existen varios tipos de torres para diversos tipos de aplicaciones no nada más para Microondas, dentro de las cuales destacan la celular, Trunking, PCS, AM, FM y Televisión; pero se pueden clasificar debido a su construcción en: Arriostradas y Autosoportadas³³, las cuales, pueden ser suministradas en piernas sólidas, tubulares o de ángulo en sección triangular o cuadrada y sus diseños permiten manejar cualquier tipo de carga y preferencia del cliente.

Torres Arriostradas

Estas torres, también conocidas como Retenidas son recomendables cuando existe terreno disponible y a un costo razonable, debido a la gran extensión de área que requieren para su correcta instalación. Por su fabricación, pueden clasificarse en:

Diagonales y horizontales soldadas (cada sección se encuentra soldada de fábrica)

Diagonales y horizontales con acoplamiento por tornillos de sujeción (es necesario el ensamble de la sección en campo).

Torres Autosoportadas

Son recomendables cuando el costo del terreno es elevado o el área disponible para su instalación es reducida. Estas torres son fabricadas en secciones triangular o cuadrada en sin número de configuraciones, de acuerdo a sus necesidades específicas. Por tal motivo estas torres son más caras que las arriostradas.

³³ Infraestructura en Telefonía y Telecomunicaciones, SISTEMEX



Torre autoportada



Torre arriostrada

Las torres son el soporte de los órganos transmisores y receptores de nuestras señales. Para la correcta instalación, operación y mantenimiento de estos equipos es necesario la utilización de diversos dispositivos y accesorios tales como: Soportes para las antenas, escudos antihielo, plataformas, camas y puentes para guías de onda, escaleras de acceso a sistemas de seguridad, iluminación, aterrizaje y pintura.

Los *soportes para las antenas* deberán estar diseñados de acuerdo a las normas EIA/TIA-222E garantizando su correcta operación aún bajo las condiciones más severas. Estos pueden ser instalados tanto en las piernas como en las caras de la torre, siendo los diseños más comunes:

- Soporte simple: se emplea para montar una antena solamente.
- Soporte múltiple: permiten montar dos o más antenas, con la capacidad de orientarse en diferentes direcciones.
- Brazo lateral: son utilizados para separar las antenas del cuerpo de la torre cuando existen obstáculos, como por ejemplo, la existencia de otras torres en la misma trayectoria.

Los *escudos antihielo* consisten básicamente de una rejilla sobre la cual se acumula la nieve o hielo, mismos que al pasar a través de ella se fragmentan en pequeños pedazos, evitando así, daños a las antenas. Debido a las condiciones climatológicas de nuestro país, en la mayoría de los casos no es necesaria la instalación de este tipo de dispositivos.

Las *plataformas* se requieren cuando es necesario disponer de espacio adicional para el montaje de antenas, realizar trabajos de instalación y mantenimiento o simplemente contar con un área que permita al personal descansar al ascender y descender de las torres. Existen las plataformas cuadradas, triangulares, hexagonales y giratorias (giran en incrementos de 30°). En cada una depende de como se quieran instalar las antenas o si no se sabe que orientación tendrán conviene más una giratoria.

Los *pasillos* permiten el acceso a las diferentes caras de la torre, facilitando los trabajos de inspección y mantenimiento de luces, antenas, líneas. Generalmente son instalados en los niveles inferiores de las torres autosportadas.

Las *plataformas de descanso*: como su nombre lo indica, son diseñadas para brindar un área de descanso al personal que se encuentra realizando trabajos sobre la torre. Por lo general son instaladas formando un anillo alrededor de la estructura y cuentan con un barandal como medida de seguridad. No son recomendables para la instalación de antenas.

Camas para guías de onda: estas son instaladas en una o varias caras de la torre, con la finalidad de soportar las guías de onda que alimentan las antenas.

Puentes para guías de onda: soportan y protegen las guías de onda en el trayecto de la torre a la caseta o contenedor.

Dispositivos de Ascenso: se utilizan para facilitar el ascenso a la torre cuando se requiere realizar trabajos de instalación, inspección y mantenimiento; dentro de estos dispositivos tenemos:

Peldaños en piernas: los peldaños están fabricados en barra sólida, estando soldados o atornillados a la pierna de la torre.

Escaleras de ascenso: éstas pueden ser montadas tanto por el interior como por el exterior de la torre. Se recomienda estén situadas frente a las camas de guías de onda, permitiendo realizar trabajos de instalación y mantenimiento de líneas con gran facilidad, dado que en la mayoría de los casos no es necesario abandonar la escalera de acceso para llevarlos a cabo.

Sistemas de Seguridad: se utilizan para evitar la caída de una persona o que ésta sea lesionada. Normalmente se ofrece un sistema de cable de seguridad como el de barra rígida; ambos diseños no obstaculizan el ascenso y descenso a la torre.

Dispositivos contra ascenso no autorizado: consisten básicamente de una cubierta de 2 a 3 m. de altura instalada en la base de la torre, con puerta y chapa de seguridad, impidiendo el acceso a los peldaños o escalera de ascenso a la torre.

Aterrizaje: consiste en la protección adecuada de instalaciones y equipos contra descargas atmosféricas. La norma, marca como requerimiento mínimo de aterrizaje para una torre, la colocación de dos varillas de 5/8" de diámetro y 2.50m. de longitud instaladas diametralmente opuestas.

Los elementos que integran un sistema típico de aterrizaje para una torre son:

Pararrayos: generalmente son colocados en la parte más alta de la torre, e incluso, en algunas ocasiones son instalados en mástiles de 6 ó 12m. de altura en la cúspide de la misma torre, con la finalidad de incrementar la altura del pararrayos; contando con una rosca en la parte inferior, permitiendo la instalación de conectores para el acoplamiento del cable bajante.

Cable Bajante: es un cable de cobre, ya sea con aislamiento o desnudo, generalmente de 28 hilos y del no. 2 AWG o mayor, que une los diferentes elementos que integran el sistema de aterrizaje de la torre.

Barra de Tierra: es una barra de cobre con perforaciones, donde son acoplados los diferentes conductores procedentes de los elementos que serán aterrizados, como por ejemplo: antenas, guías de onda, accesorios y partes de la torre, para después ser conectados al sistema de aterrizaje. Se pueden tener varias barras alrededor de la torre.

Iluminación: en nuestro país la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil, dictamina los requerimientos de iluminación con que deberá cumplir cada torre. Básicamente estos dependen de la altura, cercanía a helipuertos o aeropuertos y, la posible interferencia a las trayectorias de aproximación de aeronaves.

En los Estados Unidos la FAA determina los requerimientos de iluminación de las torres. Generalmente se requiere de iluminación sólo si la torre tiene más de 60m. de altura. Pero por la cercanía a helipuertos o aeropuertos puede ser modificada esta regla

Como medida de protección contra la corrosión, todas las torres, soportes, herrajes y accesorios deberán estar galvanizados por los métodos de "Inmersión en caliente o mecánico"; este proceso se deberá aplicar a todas las partes de la torre, desde tornillos hasta cada una de las secciones que la integran. Para las piezas de acero se deberá utilizar el zinc, que desempeña dos funciones: la primera, aísla el acero de la atmósfera, proporcionando protección continua contra la corrosión, y la segunda, el zinc es un protector galvánico, el cual actúa en presencia de atmósferas o ambientes corrosivos, protegiendo al acero aún cuando haya zonas expuestas, debido a su mayor actividad electro-química.

Pintura: en algunas ocasiones es necesaria la aplicación de pintura, ya sea por regulaciones en materia de señalización aérea (SCT y FAA), fines estéticos, protección adicional en ambientes altamente corrosivos o especificaciones especiales. La calidad y correcta aplicación de ésta, se traduce en capas uniformes con gran adherencia al acero galvanizado, reduciéndose a la larga los costos de mantenimiento.

Por último, la *cimentación* que para su diseño es indispensable contar en primer lugar con un análisis de los esfuerzos máximos que se producirán sobre la torre, para así, determinar las cargas que deberá soportar dicha cimentación. También es necesario conocer las características del terreno donde se realizará la construcción apoyados con un estudio de mecánica de suelos. Además existen otros factores que también influyen directamente en la toma de decisiones como: restricciones de espacio, colindancias con predios o construcciones, posibilidad de acceso a pie de obra con maquinaria pesada, disponibilidad de materiales y mano de obra en la región.

APENDICE C

CASSETAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Deben de estudiarse tres cuestiones para asegurar un buen tiempo de entrega a un costo aceptable de una caseta:

Transporte: El ancho de la caseta dependerá el tamaño del transporte a utilizar por lo que es necesario utilizar casetas de anchura normal, estaremos hablando de anchuras menores a 2.55m.

Descarga: Es necesario que se tomen las debidas precauciones para poder bajar la caseta del transporte para tener una buena instalación.

Acceso al Sitio: Se deberá prestar la debida atención a la existencia de caminos angostos, restricciones de los puentes, pendientes muy pronunciadas, superficies altas, obstrucciones a lo alto y la disponibilidad de grúas. Todo esto debido a que las casetas normalmente se piden prefabricadas

Las partes que componen una caseta son:

Opciones estructurales:

- Tamaño de la caseta: que viene siendo las medidas de la caseta ancho, largo y alto.
- Aberturas estructurales: son las aberturas necesarias para poder pasar cables y guías de onda.

Opciones arquitectónicas:

- Acabado exterior: es opcional dependerá si se desea un acabado especial.
- Puerta de acero: medidas ancho por alto.
- Puerta blindada: normalmente las casetas deberán ofrecer una alta seguridad.
- Accesorios de la puerta: son las cerraduras y las protecciones a las mismas.
- Opciones interiores: es por si se desea aislamiento.
- Contrapiso: que no son sino paredes divisorias y escritorios plegables.

Sistemas eléctricos:

- Monofásico básico
- Trifásico básico
- Receptáculos del generador
- Enchufe de acoplamiento del generador
- Cortocircuitos adicionales

- Sistemas de iluminación: que pueden ser fluorescentes, incandescentes, de celdas fotoeléctricas y luces de emergencia.
- Interruptores y controles: que incluyen cronómetros e interruptores de seguridad y de transferencia.

Conexión a tierra/protección contra rayos:

- Sistema de barra de conexión a tierra
- Caída a tierra (equipo)
- Conexión a tierra de conductos
- Jaula de Faraday
- Disipador de sobretensiones

Sistemas HVAC:

- Aire acondicionado
- Sistemas de calefacción
- Sistemas de ventilación
- Sistemas de ventilación de baterías

Escaleras para cables/conductos para alambres

- Diversos tipos de escaleras y conductos

Opciones de Seguridad

- Sistema de alarma: como alarma de humo, de humedad, de temperatura baja o alta, de puerta abierta y de fallo de potencia.
- Seguridad/Primeros auxilios: estos incluyen juego de seguridad de la sala de baterías, centro de primeros auxilios, extintores de incendios.

Opciones de apoyo al sistema

- Dentro de esta opción existen el generador auxiliar y sus accesorios básicamente.

Como se puede apreciar las casetas deberán ofrecer una protección segura para los equipos que estarán dentro de la misma; por lo mismo la mayoría se construyen con concreto liviano con refuerzo estructural, logrando que sean resistentes a los incendios, a las balas y al vandalismo. El resultado es un espacio extremadamente seguro para los equipos electrónicos, brindando una garantía de servicio constante en el aire.

Por ello las casetas se fabrican usando paneles sólidos de una sola pieza: no hay costuras. Todos los uniones entre los paneles (entre paredes y techo) están sellados de tal forma que ofrecen una resistencia a la intemperie y a la humedad excelentes. También deberán soportar terremotos para lo cual se deberá cimentar correctamente y tomar en cuenta los cuatro puntos de sujeción. La carga de viento es normalmente de 150 millas por hora; y las puertas de acero estándar es de construcción clasificada para incendio fabricada de acero de calibre 18 y normalmente está aislada con espuma; y las puertas blindadas se fabrican de calibre 16 para soportar la penetración de un disparo con pistola magnum .44, pero existen puertas disponibles para soportar rifles de mayor potencia.

Y para tener funcionando el equipo se tienen los generadores auxiliares que permiten que el equipo electrónico permanezca funcionando aún en caso de pérdidas de alimentación. Pero para ello también se deberán incluir además del generador, el sistema de escape, el sistema de ventilación, sistema de combustible e interruptor de transferencia



Descarga de una caseta

APÉNDICE D

TERMINOLOGÍA

Los términos listados a continuación son algunas de las abreviaturas, modismos, nombres y símbolos, más empleados en el lenguaje técnico de transmisión de datos, y son presentados con la finalidad de establecer un criterio unívoco entre el presente trabajo y el lector. Cabe hacer mención que en algunos casos se traducen literalmente al español las siglas que así lo permiten, debido a que algunos conceptos se han adoptado tal cual en modismos de transmisión de datos al español.

ADM (Add-Drop Multiplexor) Multiplexor de inserción y extracción

Ancho de Banda

(Bandwith) La cantidad de datos que se pueden transferir a través de una conexión. Comúnmente medida en bits-por-segundo

ANSI (American National Standards Institute) Instituto Nacional de Estándares de América

ATM (Asynchronous Transfer Mode) Modo de Transferencia Asíncrona

Backbone Una línea de alta velocidad o una serie de conexiones que forman un mayor ancho de banda en una red. Red Nacional

Baudio (Baud) Es el número de veces por segundo que la portadora cambia de valor.

Bit (Binary digIT) La unidad básica de información de datos en un sistema computarizado. El ancho de banda (bandwith) es comúnmente medido en bits-por-segundo.

Bits-por-segundo (Bps-Bits per second)

Medida de velocidad de transmisión de datos de un lugar a otro

Byte Un conjunto de Bits que representan un solo carácter. Comúnmente son 8 bits son un byte

Canal Es un medio de transmisión que puede ser bidireccional de señales entre dos puntos, por línea física, radioeléctrico, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

CCITT (International Telegraph & Telephone Consultive)

CELP Codificación Lineal Predictiva Excitada por Codigos

Central Equipo o conjunto de equipos de conmutación mecánicos, eléctricos, electrónicos, ópticos o de cualquier otro tipo, que mediante las conexiones analógicas o digitales de circuitos enruta el tráfico conmutado.

CEPT (Conference of European Post & Telecommunications)

Circuito Combinación de dos canales que permite la transmisión bidireccional de señales entre dos puntos. Conjunto de medios necesarios para establecer un enlace bidireccional directo entre dos estaciones.

Concesionario

Las persona física o moral a que se refiere la Regla 2, fracción V, de las reglas de servicio de larga distancia, publicadas en el diario oficial de la federación de fecha 21/06/96

Conexión Unión eléctrica en las estaciones de la red o en la terminal del usuario para recibir o entregar las señales

Conmutación

Función que permite el enrutamiento de tráfico conmutado entre usuarios conectados en la misma central o entre dicha central y otras centrales, mediante la utilización de numeración local asignada

CPU Unidad Central de Procesamiento

DACS (Digital Acces & Cross-Connect System)

DXC (Digital crosconnect) Sistema Digital de Cross-conexión

DTMF (Dual Tone Multiple Frequency)

E (jerarquía)

La norma europea CEPT/E tiene como primer jerarquía el E1 que está compuesta por 32 canales. Dos de los cuales no se utilizan para transmitir datos, sino para sincronización y señalización.

La siguientes jerarquías son E2, E3 y E4:

Nombre	Canales de información	Capacidad
E1	30	2048 Mbit/s
E2	4E1 = 120	8448 Mbit/s
E3	16E1= 480	34368 Mbit/s
E4	4E3 =1920	139264 Mbit/s

Enlace Proceso de transmisión con características específicas, entre dos puntos, esto puede ser mediante canal o circuito de instalaciones terminales y red

de interconexión que funciona en modo particular a fin de permitir el intercambio de información entre equipos terminales

Espectro Radio eléctrico

El espacio que permite la propagación, sin necesidad de una guía artificial de ondas electromagnéticas, cuyas bandas de frecuencia se fijan por debajo de los 3000 gigahertz

Estación base

Estación terrestre para proporcionar el servicio móvil terrestre

E-mail Correo Electrónico

FCC (Federal Communication Comision)

FDM (Frequency Division Multiplexing) Multiplexión por División de Frecuencia

Flexmux Multiplexor Flexible

FR Frame Relay

FI Frecuencia Intermedia

GSP Global Satellite Position

iDEN integrated Digital Enhanced Network

ITU (International Telecommunications Union) antes CCITT

MODEM Modulador/Demodulador.

Es un dispositivo que transforma datos digitales, procedentes de un ordenador, en analógicos, volcándolos en un medio físico de comunicación

MSO Oficina de Conmutación Central

MUX Multiplexor

NI (Network Interface)

NIC (Network Interface Card)

M16-QAM Multiple Carrier Quadrature Amplitude Modulation scheme used in iDEN, with a 64 kbps gross bit transfer rate

MNS	(Network Management System)
NPA	(Numbering Plan Area)
PDH	(Plesionchronous Digital Hierarchy) Jerarquía Digital Plesiócrona
PSTN	(Public Switched Telecommunications Network)
RF	Radio Frecuencia
SCT	Secretaria de Comunicaciones y Transportes (México)
SDH	(Synchronous Digital Hierarchy) Jerarquía Digital Síncrona
SONET	(Synchronous Optical Network)
STM	(Synchronous Transport Module) Las recomendaciones de CCITT definen un número de velocidades de transmisión básicas dentro del SDH.
	STM-1 155 Mbit/s
	STM-4 622 Mbit/s
	STM-16 2.4 Gbit/s
TDM	(Time Division Multiplexing) Multiplexión por División de Tiempo
TDMA	(Time Division Multiple Acces) Acceso por Multiplexión
TM	(Terminal Multiplexer)
TS	(Time Slot) División de Tiempo
VSELP	Vectro Sum Linear Prediction