



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO FIJO
DE VOZ PARA LA ZONA CONURBANA Y RURAL DE LA
CIUDAD DE MONTERREY**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICO Y ELECTRÓNICO**

PRESENTAN:

Gustavo Francisco Cruz Saldaña

Carlos Rodríguez Palacios

Jorge Arturo Segoviano Velásquez

Asesor: M.I. Lauro Santiago Cruz

MEXICO D. F. 2005

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. CONCEPTOS BÁSICOS	4
1.1. Evolución de las redes de voz en México	4
1.2. Conceptos de telefonía	6
1.2.1. Red telefónica conmutada	8
1.2.2. Arquitectura de conmutación	11
1.2.3. Teoría de tráfico	12
1.3. Principios de comunicaciones y transmisión	13
1.3.1. Modulación digital	13
1.3.2. Codificación de línea	22
1.4. Regeneración de señales digitales	24
1.5. Características de las ondas de radio	26
1.5.1. Frecuencia y longitud de onda	27
1.6. Sistemas de radio	29
1.6.1. Componentes de un sistema de radio	30
1.7. Técnicas de acceso en sistemas inalámbricos	36
1.7.1 Acceso múltiple por división de tiempo	37
1.7.2 Acceso múltiple por división de frecuencia	38
1.7.3 Espectro expandido	39
1.7.4 Salto de frecuencias	40

CAPÍTULO II. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN	42
2.1. Situación actual	42
2.2. Análisis de la propuesta	43
CAPÍTULO III. SISTEMA MULTI-GANANCIA	49
3.1. Introducción al SMG	49
3.2. Descripción del Sistema Multi-Ganancia	50
3.2.1. Cobertura de radio	50
3.2.2. Grado de servicio	53
3.3. Arquitectura del sistema	54
3.3.1. Unidad de control de puerto de radio	55
3.3.2. Puerto de radio	56
3.3.3. Unidades fijas de abonado	58
3.3.4. Sistema de sincronía global	60
3.4. Interfaz y tecnologías de los equipos del SMG	62
3.4.1 Implementación del salto de frecuencia en el SMG	62
CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN	68
4.1. Planeación del sistema	68
4.1.1. Recopilación de la información	69
4.1.2. Simulación de la cobertura y selección de sitios	72
4.1.3. Estudios de campo	75
4.1.4. Estudios de radio interferencia	80
4.1.5. Determinación de componentes de los SMG	86
4.2. Implementación del sistema SMG	92
4.2.1. Instalación del Bastidor, del UCPR y SSG.	92
4.2.2. Instalación de los PRs	99
4.3. Configuración y pruebas de funcionalidad	103
4.3.1. Pruebas de funcionalidad	111
4.3.2. Pruebas de radiación	111
4.3.3. Puesta en servicio y operación del SMG	118

ÍNDICE GENERAL

RESULTADOS Y CONCLUSIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	128
APÉNDICES:	
A: Tablas de Erlang B	A-1
B: Diagrama de conexiones	B-1
C: Hojas de especificaciones técnicas	C-1

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I CONCEPTOS BÁSICOS	4
Tabla 1.1. Valores numéricos de la onda muestreada	14
CAPÍTULO II ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN	42
Tabla 2.1. Tabla 2.1. Comparación de sistemas de telefonía	45
CAPÍTULO IV PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN	68
Tabla 4.1. Colonias y su demanda	69
Tabla 4.2 Sitios disponibles para la instalación de radio bases	71
Tabla 4.3. Saltos de frecuencias en el SMG	86
Tabla 4.4. Demanda de líneas por sector para las radio bases	87
Tabla 4.5. Tabla de Erlang B	88
Tabla 4.6. Cálculo del número de los PRs para la radio base Los Reyes	89
Tabla 4.7. Cálculo de antenas y UCPRs para todos los sitios	91
Tabla 4.8. Cableado del panel frontal de la UCPR	97
Tabla 4.9. Números telefónicos y puertos lógicos	109
Tabla 4.10. Niveles de RSS por colonia	117
Tabla 4.11. Valores teóricos de RSS	117
Tabla 4.12. Instalación de UFAs	123

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I CONCEPTOS BÁSICOS	4
Figura 1.1. a) Forma de onda de un tono puro; b) Forma de onda típica de la voz	6
Figura 1.2. Circuito telefónico simple	7
Figura 1.3. Emisión de una onda de sonido sobre un circuito telefónico simple	7
Figura 1.4. Arquitectura de una red telefónica pública	8
Figura 1.5. Red de conmutación dinámica	10
Figura 1.6. Matriz básica de conmutación en un instante típico	11
Figura 1.7. Muestreo de una forma de onda	14
Figura 1.8. Reconstrucción de la forma de onda	14
Figura 1.9. Modulación por amplitud de pulsos	16
Figura 1.10. Niveles de Cuantización	17
Figura 1.11. Codificación de la de la señal cuantizada	17
Figura 1.12. Señal PCM	18
Figura 1.13. Diagramas de bloques de ADPCM	19
Figura 1.14. Principio de multiplexaje por división de tiempo	20
Figura 1.15. Multiplexor primario	22
Figura 1.16. Código HDB3	24
Figura 1.17. Inmunidad al ruido de la señal digital	25
Figura 1.18. Principio de regeneración	26
Figura. 1.19. Propagación de las ondas electromagnéticas	27
Figura. 1.20. Longitud de onda de una señal senoidal	29
Figura 1.21. Transmisión simple de radio	31
Figura 1.22. Patrón de radiación de las antenas	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.23. Antena de placas impresas	34
Figura 1.24. Propagación por línea de vista	35
Figura 1.25. Receptor simple de radio	36
Figura 1.26. TDMA	37
Figura 1.27. FDMA	38
Figura 1.28. Espectro Expandido	39
Figura 1.29. CDMA	40
Figura 1.30. Salto de frecuencia	41
CAPÍTULO II ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN	42
Figura 2.1. Arreglo para las lecturas de radio interferencia	48
CAPÍTULO III SISTEMA MULTI-GANANCIA	49
Figura 3.1. Arquitectura básica del SMG	54
Figura 3.2. Fotografía de un UCPR	55
Figura 3.3. Antena PR	56
Figura 3.4. Arreglo de instalación de PRs	57
Figura 3.5. (a) Antena de la UFA, (b) Hardware de la UFA	58
Figura 3.6. Unidad de Control de Potencia	60
Figura 3.7. Diagrama de bloques del SSG	61
Figura 3.8. Salto de frecuencias en el SMG	65
CAPÍTULO IV PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN	68
Figura 4.1. Ubicación de las áreas de demanda	70
Figura 4.2. Sitios con infraestructura disponible	72
Figura 4.3. Resultado de la simulación en Valle Verde	74
Figura 4.4. Resultados de cobertura obtenidos por el software	75
Figura 4.5. Sala donde se instalará el SMG	76
Figura 4.6. Torre donde se instalan las antenas de radio	77
Figura 4.7. Cobertura del sito Los Reyes	78
Figura 4.8. Cobertura de las cuatro radio bases	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.9.	Primera lectura del ancho de banda del Sitio Los Reyes	81
Figura 4.10.	Segunda lectura del ancho de banda del Sitio Los Reyes	82
Figura 4.11.	Tercera lectura del ancho de banda del Sitio Los Reyes	83
Figura 4.12.	Cuarta lectura del ancho de banda del Sitio Los Reyes	83
Figura 4.13.	Quinta lectura del ancho de banda del Sitio Los Reyes	84
Figura 4.14.	Sexta lectura del ancho de banda del Sitio Los Reyes	84
Figura 4.15.	Bastidor del SMG	93
Figura 4.16.	Fijación del bastidor al piso	94
Figura 4.17.	Fijación superior del bastidor	95
Figura 4.18.	Panel de conectores del UCPR	96
Figura 4.19.	Vista posterior del bastidor	97
Figura 4.20.	Instalación de la antena del SPG	98
Figura 4.21.	UCPRs y SSG instalados en el bastidor, Los Reyes	99
Figura 4.22.	Caja de conexión en la torre	100
Figura 4.23.	Instalación de los PRs para ofrecer cobertura de 360°	101
Figura 4.24.	Efecto de la inclinación del haz	102
Figura 4.25.	Instalación de las antenas en la torre de Escobedo	102
Figura 4.26.	Soporte H instalado en la torre de Los Reyes	103
Figura 4.27.	Esquema de la programación de la radio base Los Reyes	105
Figura 4.28.	Tabla de frecuencias en el SG	106
Figura 4.29.	Pantalla del SG donde se crean los sectores	106
Figura 2.30.	Declaración de PRs dentro del SG	107
Figura 2.31.	Enlaces creados por el SG	108
Figura 4.32.	Configuración de la UCPR de Los Reyes; (a) UCPR 1 y (b) URPCU 2	110
Figura.4.33.	Terminal de configuración manual	112
Figura 4.34.	Pruebas de radiación de RSS en Monte Cristal	118
Figura 4.35.	Instalación de la UFA	120
Figura 4.36.	Instalación de la UPC	121
Figura 4.37.	Estado de seguimiento de la UFA	121
Figura 4.38.	Estado activo de la UFA	122

INTRODUCCIÓN

Las redes telefónicas son parte importante de los sistemas de telecomunicaciones. La eficiencia de la tecnología que se utilice para dar solución a la demanda del servicio telefónico depende en gran parte de la calidad de los materiales, instalación y mantenimiento de las redes

Las soluciones a la demanda de servicios telefónicos primordialmente están basadas en la respuesta de tiempo en la que se pueda poner en marcha la infraestructura necesaria para poder brindar dichos servicios; además, el objetivo de las empresas que brindan el servicio telefónico siempre será el de contar con sistemas escalables, con los cuales puedan dar un servicio de calidad, con sistemas confiables, eficaces y sobretodo que sean sistemas viables. Por lo anterior, las empresas están empleando las soluciones de acceso inalámbrico fijo WLL para cubrir las necesidades de las comunidades en las que, por diferentes razones, ya no pueden continuar brindando su servicio con la tecnología propia.

WLL es una tecnología que utiliza radio bases conectadas a centrales comunes de conmutación pública, para que vía radio, pueda alcanzar la terminal fija del abonado. El uso de varias radio bases, cada una de las cuales cubre una determinada área, garantiza la cobertura de toda la región de interés.

El presente trabajo de tesis muestra una tecnología de acceso inalámbrico fijo WLL, sus aplicaciones y ventajas contra otro tipo de sistemas, tanto inalámbricos móviles como redes que se basan en el cobre para la distribución de los servicios. Este tipo de sistemas está dirigido a compañías prestadoras de servicio telefónico que por falta de infraestructura,

saturación de la misma o difícil acceso a las áreas de interés, tienen problemas en el crecimiento de sus redes telefónicas. El trabajo de tesis incluye la aplicación en un proyecto real en el área conurbana y rural de la ciudad de Monterrey.

El presente trabajo escrito está estructurado en cuatro capítulos, la parte de los resultados y conclusiones, apéndices, glosario y bibliografía.

El capítulo 1, ofrece los conceptos básicos necesarios para entender el funcionamiento del sistema de telefonía fija, tales como: conceptos de conmutación, digitalización de la voz, conceptos de transmisión, métodos de acceso.

El capítulo 2, muestra un análisis del estado actual del servicio telefónico en la ciudad de Monterrey y se enuncian los problemas más relevantes que impiden dar una solución tradicional a la demanda creciente de servicios telefónicos en dicha ciudad, así mismo, se realiza una comparación entre las diferentes tecnologías que podrían ser utilizadas para resolver el problema y por último se enuncia la propuesta de solución.

El capítulo 3, se dedica a la descripción, características y funcionamiento del sistema SMG.

El capítulo 4, describe el procedimiento que se siguió para desarrollar el proyecto en Monterrey. Se explica el procedimiento para determinar la cantidad de equipamiento requerido, la forma de instalación de las radio bases y las pruebas de funcionalidad y puesta en servicio del SMG con los usuarios.

Después de la instalación, pruebas y puesta en operación del sistema se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones que se tuvieron.

Finalmente se presenta la bibliografía consultada y los apéndices generados

Cabe comentar que en el trabajo se ha seguido el criterio de mantener la versión inglesa de las siglas, en la mayoría de las veces, puesto que bajo esta forma son de conocimiento general. La primera vez que aparece a abreviatura de un término en el trabajo se acompaña el término correspondiente. Además, para mayor comodidad, se ha incluido al final un glosario de las

INTRODUCCIÓN

siglas de uso más frecuente en la descripción de los sistemas. En algunos casos se presenta la traducción al español de los términos seguida del propio término en inglés.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS BÁSICOS

En este primer capítulo se presenta la evolución de las redes de voz en México, así como los conceptos básicos de telefonía, comunicaciones, transmisión y multiplexión, que nos ayudarán a comprender la tecnología y el funcionamiento del sistema a desarrollar.

1.1. Evolución de las redes de voz en México

La necesidad del hombre por comunicarse entre sí, lo ha llevado a buscar nuevas formas de comunicación; la invención del teléfono ha sido una de ellas.

Cuando el teléfono llegó a México, hace más de 100 años, representó un sistema novedoso, pero que a la vez causó desconfianza o temor. Hoy es un elemento cotidiano para la comunidad.

En la siguiente cronología sobre la telefonía en México, se da a conocer el desarrollo que este importante invento ha tenido en nuestro país:

- El 13 de marzo de 1878 se efectuó el primer enlace telefónico entre la ciudad de México y la población de Tlalpan. Se logró comunicación a una distancia de 16 kilómetros.

- El 18 de julio de 1882 se forma una empresa telefónica, la constituyen los socios George Lea Sanders, Thomas A. Watson, M.L. Greenwood y Emilio Berlines. Se instalaron en la calle de Santa Isabel número 61-2.
- En 1894, llegan los conductores aislados, lo cual permitió corregir la calidad de las transmisiones. Fue la sustitución del alambre por cable. Así comenzó la mejora tanto en el aparato telefónico como en la infraestructura.
- Fue en 1924 cuando la compañía Ericsson inauguró la primera central telefónica automática conocida como la Central Roma, ésta comenzó a funcionar dos años más tarde con una capacidad de diez mil líneas.
- El 1º de julio de 1928, hubo comunicación telefónica con Europa. Esta comunicación fue la combinación de líneas telefónicas de tierra y circuitos radiotelefónicos a través del Atlántico.
- En el verano de 1962 fue lanzado el satélite de comunicaciones *Telstar*, patrocinado por el sistema Bell y la Nasa; fue el primero en funcionar con el sistema de microondas. Esto permitió que las ciudades de México, Monterrey y Nuevo Laredo mejoraran su servicio de conmutación automática de larga distancia.
- El día 31 de mayo se presentó el "Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994", donde se menciona la importancia de las telecomunicaciones destacando los siguientes puntos:
 - Diversificar, mejorar su calidad, ampliar la cobertura en áreas urbanas y extenderse a más zonas rurales.
 - Las tarifas de los diferentes servicios no deben diferir de las vigentes en los países con los que compite México en el mercado internacional.
 - La modernización y expansión de las telecomunicaciones requerirá de la participación de los particulares.
 - El estado ejercerá la rectoría en las telecomunicaciones impulsando su desarrollo tomando en cuenta el cambio tecnológico habido en los últimos años.
 - La expansión de la red básica de telefonía, para aumentar sustancialmente el número de líneas.

- Desde finales de la década de los 90s hasta nuestros días, diversas empresas de telefonía se han dado a la tarea de implementar equipos con diferentes tecnologías que permitan satisfacer la alta demanda de servicio telefónico; de esta forma se ha llegado a las soluciones con sistemas inalámbricos.

1.2. Conceptos de telefonía

La telefonía es la transmisión de sonido, particularmente la voz, hacia un lugar distante. La telefonía se logra mediante la conversión de las ondas de sonido de la voz del emisor en una onda eléctrica equivalente. Consideremos las características del sonido para entender cómo se lleva a cabo esta conversión.

El sonido no es más que vibraciones del aire que nos rodea, causadas por ondas de alta o baja presión de aire que han sido generadas por alguna forma de vibración mecánica, por ejemplo un objeto golpeando a otro, o la vibración de las cuerdas bucales durante la emisión de voz. Las ondas de sonido en el aire que nos rodea provocan que los objetos vecinos vibren en resonancia. El oído humano detecta el sonido mediante el uso de un diafragma muy sensitivo que vibra en sincronía con el sonido que lo impacta. El timbre de un sonido (que tan alto o bajo suena) depende de la frecuencia de vibración del mismo. En general, el sonido es una mezcla muy compleja de frecuencias, como se ilustra en la figura 1.1. En el inciso a) de la figura se muestra un tono puro de una sola frecuencia, mientras que en el inciso b) se muestra la forma de onda típica de voz. Cabe comentar que el rango de frecuencias típico audible para el ser humano es de 20-20,000 Hz. Sin embargo, para la voz inteligible sólo se necesitan las frecuencias de 300 a 3,400 Hz.

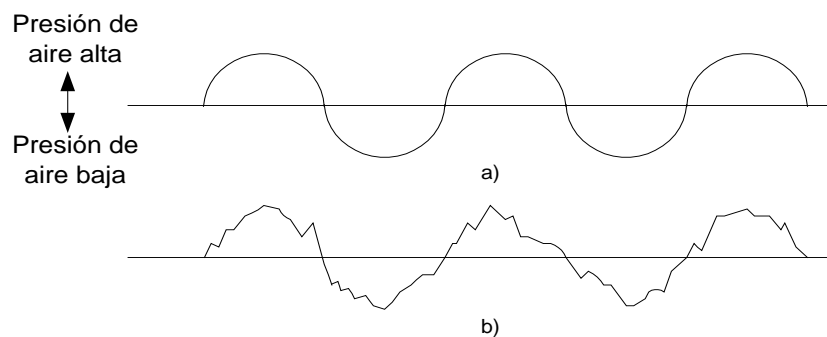


Figura 1.1. a) Forma de onda de un tono puro; b) Forma de onda típica de la voz.

La figura 1.2 ilustra un circuito telefónico simple, capaz de realizar la conversión de la onda de sonido a una onda eléctrica. Consiste de un micrófono, una batería, una línea telefónica y un audífono.



Figura 1.2. Circuito telefónico simple.

Cuando no se habla sobre el micrófono, tanto el micrófono como el audífono, tienen una resistencia eléctrica constante y, por lo tanto, una corriente eléctrica estable fluye por el circuito. Cuando se habla sobre el micrófono, las ondas de sonido que inciden sobre el diafragma provocan que la resistencia eléctrica del dispositivo varíe ligeramente. El cambio de resistencia provoca el correspondiente cambio de corriente. La figura 1.3 ilustra este efecto con más detalle. Como se ve, el resultado es la creación de una señal que varía casi en la misma forma que la onda de sonido original.

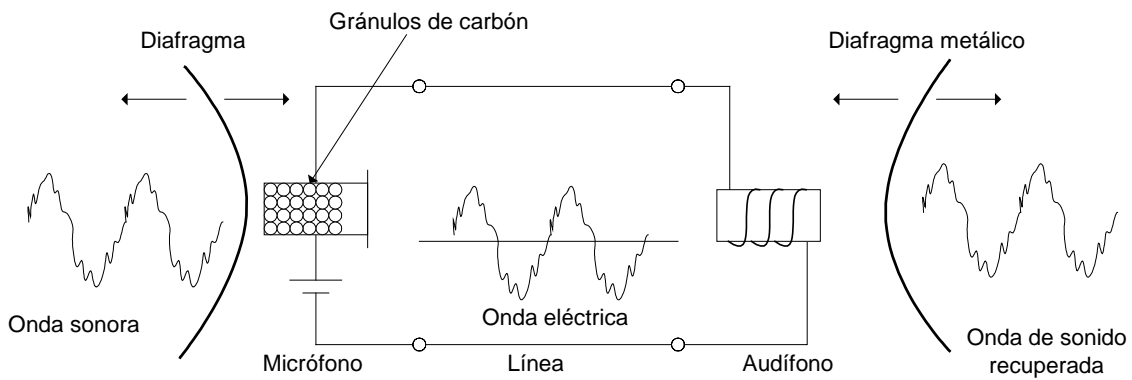


Figura 1.3. Emisión de una onda de sonido sobre un circuito telefónico simple.

De manera inversa, en el audífono la señal eléctrica se convierte a sonido. El audífono simple que se ilustra en la figura 1.3 se construye con base en un diafragma de hierro y un electroimán. La señal eléctrica variable que produce el micrófono, se traduce en una fuerza de atracción variable sobre el diafragma del audífono. Esto hace vibrar al aire circundante, reproduciendo la onda original de sonido. El proceso de conversión descrito es analógico, ya que la forma de onda eléctrica propagada a través de la red analógica es igual a la forma de onda original de sonido.

1.2.1. Red telefónica conmutada

La conmutación de circuitos se usa en redes telefónicas públicas. La técnica de conmutación de circuitos se desarrolló para tráfico de voz aunque también puede gestionar tráfico de datos de forma no muy eficiente. En la conmutación de circuitos se establece un canal de comunicaciones dedicado entre dos estaciones, en donde se reservan recursos de transmisión y de conmutación de la red para su uso exclusivo en el circuito durante la conexión. La transmisión es limpia, ya que, una vez establecida la conexión parece como si los dispositivos estuviesen directamente conectados.

Una red pública de telecomunicaciones se puede describir a través de los cuatro componentes que forman su arquitectura, figura 1.4: a) Abonados: Son los dispositivos que se conectan a la red como el teléfono, MODEM, etc. b) Bucle local: es el enlace entre abonado y la red, también denominado bucle de abonado o línea de abonado, está formado por un par trenzado. c) Centrales: son los centros de conmutación de la red. d) Líneas principales: Son los enlaces entre las centrales.

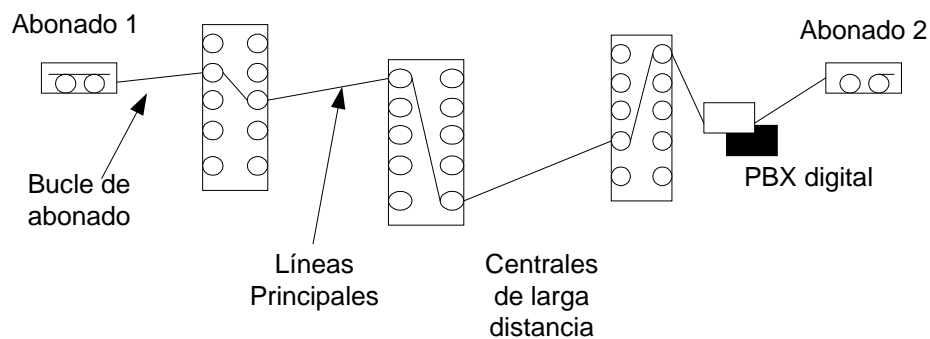


Figura 1.4. Arquitectura de una red telefónica pública.

En las redes de conmutación de circuitos, se debe establecer una trayectoria física, o circuito, y mantenerla durante toda la conversación entre su punto de origen y terminal. Las centrales para conmutación de circuitos deben satisfacer los tres siguientes atributos particulares:

- Habilidad para liberar la conexión una vez terminada la llamada.
- Habilidad para conectar cualquier circuito de entrada con uno de muchos otros circuitos de salida. Particularmente importante es la habilidad para seleccionar diferentes circuitos de salida cuando se realizan llamadas subsecuentes desde el mismo circuito de entrada. Durante el establecimiento de cada llamada, la central debe determinar qué circuito de salida se necesita, normalmente a partir del número marcado. Esto hace posible extender llamadas hacia muchos otros usuarios de la red.
- Habilidad para evitar que nuevas llamadas se introduzcan en circuitos que ya se están usando. Para prevenir esto, la nueva llamada se debe desviar hacia un circuito alternativo o prohibirle su acceso, en cuyo caso el abonado que llama debe recibir un tono de ocupado.

Otro requisito es la flexibilidad para adaptarse a las variaciones de tráfico incluso en horas pico o en condiciones excepcionales con un nivel de servicio razonable. Un compromiso entre eficiencia y flexibilidad es la estrategia de tomar la ruta adecuada para establecer la comunicación.

Normalmente los conmutadores de una red se organizan en una estructura en árbol o jerárquica, estableciendo una ruta a través del árbol, comenzando en el abonado que llama hasta el primer nodo común y después hasta el abonado llamado. Para proporcionar flexibilidad a la red se incluían en el árbol enlaces de alta capacidad adicionales para conectar entre sí centrales con altos volúmenes de tráfico. Esta aproximación es estática. La incorporación de enlaces de alta capacidad proporciona redundancia y capacidad extra, pero no es capaz de adaptarse a condiciones cambiantes e incluso de alta carga.

En la actualidad se ha pasado de una aproximación estática a una aproximación dinámica, en donde las decisiones para tomar una ruta adecuada, dependen en cada instante del tráfico actual. Esta arquitectura es más compleja pero más flexible porque hay más rutas alternativas.

Un ejemplo de aproximación dinámica es la toma de rutas alternativas, en donde las posibles rutas entre dos centrales finales se encuentran predefinidas, ya que cada conmutador dispone de un conjunto de rutas prefijadas en orden de preferencia para cada destino. Si existe una conexión directa ésta es la elegida. Si no está disponible esta línea, se prueba con la segunda alternativa y así sucesivamente.

La conmutación de circuitos implica tres fases (figura 1.5):

1. Establecimiento del circuito: Se establece un circuito extremo a extremo. Por ejemplo: la estación A envía una solicitud al nodo 4 (a través de una línea dedicada) pidiendo una conexión con la estación E. El nodo 4 debe encontrar una ruta hacia el nodo 6 en función de las estrategias de encaminamiento dinámico. El nodo 4 selecciona el enlace hacia el nodo 5, reserva un canal libre de enlace y lo mismo hace el nodo 5 hacia el nodo 6; a continuación se envía un mensaje a E solicitando la conexión.
2. Transferencia de datos: Después del establecimiento del circuito se transmite la información (analógica o digital) de A a E, siguiendo el camino formado por el enlace A-4, canal 4-5, canal 5-6 y enlace 6-E.
3. Desconexión del circuito: Después de la transferencia de datos, la conexión finaliza por orden de una de las dos estaciones involucradas A ó E. Esta señal de desconexión se debe de propagar por los nodos 4, 5 y 6 para que liberen los recursos dedicados a la conexión que se cierra.

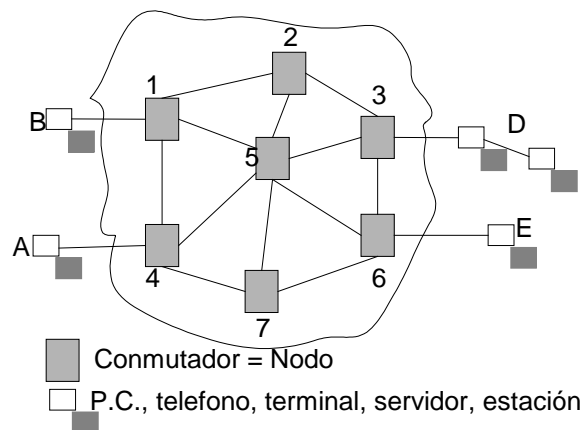


Figura 1.5. Red de conmutación dinámica.

1.2.2. Arquitectura de conmutación

Las centrales normalmente se diseñan en forma de matriz de puntos de conexión (pc), como se ilustra en la figura 1.6. La matriz de esta figura tiene 5 circuitos de entrada, 5 circuitos de salida y 25 pc, que en cualquier momento pueden estar operando o no.

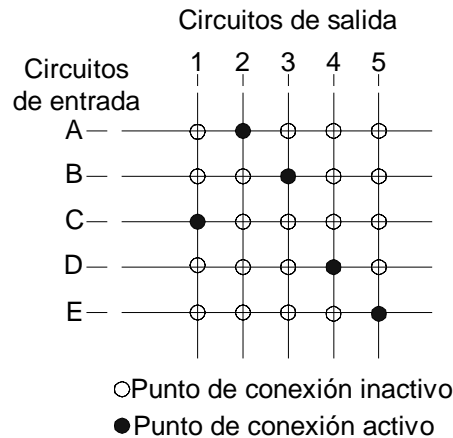


Figura 1.6. Matriz básica de conmutación en un instante típico.

Cualquiera de los circuitos de entrada A-E, se puede conectar con cualquiera de los circuitos de salida 1-5, pero en un momento dado ningún circuito de entrada se debe conectar con más de un circuito de salida, pues cada abonado sólo puede hablar con un correspondiente a la vez. En la figura 1.6 se están llevando a cabo 5 llamadas simultáneamente, que implican las conexiones A-2, B-3, C-1, D-4 y E-5.

Se pueden establecer hasta 5 llamadas, dependiendo de la demanda del momento y de si el abonado al que se llama está libre u ocupado. Supóngase por ejemplo, que un instante antes del momento que se ilustra en la figura 1.6 el abonado B había intentado realizar una llamada con 2 encontrando, por supuesto, ocupada la línea del abonado 2. Pero un momento después el abonado A termina su conversación con el abonado 2 e inmediatamente hace una llamada al abonado 5, si enseguida B levanta su teléfono y vuelve a marcar al número del abonado 2 la llamada tendrá éxito pues la línea hacia 2 ya está libre.

En cualquier momento, se pueden estar usando entre 0 y 5 pc, pero un circuito de entrada nunca se puede conectar con más de un circuito de salida, tampoco un circuito de salida se conectará con más de un circuito de entrada a la vez.

1.2.3. Teoría de tráfico

La teoría del tráfico es la base de los estudios y cálculos de dimensionamiento de las redes de telecomunicación. El tráfico telefónico se asocia al concepto de ocupación. Se dice que un circuito telefónico está experimentando tráfico cuando está ocupado. Si se realiza una llamada telefónica entre dos abonados, se ocupan los aparatos telefónicos de estos mismos, y además una serie de sistemas o circuitos intermedios tanto en las centrales como en las uniones entre las mismas; de modo que estos sistemas también experimentan tráfico cuando están ocupados. El tráfico telefónico se puede medir en términos de tiempo (entendido como tiempo de ocupación), dependiendo del número de llamadas y de la duración de las mismas.

Así, entonces, definiremos los conceptos de volumen e intensidad de tráfico, además de las unidades que éstos manejan.

Se define al volumen de tráfico (V_t) que viaja por un circuito telefónico como el tiempo total de ocupación de dicho circuito durante un intervalo de observación de referencia. Por ejemplo, si un teléfono está ocupado durante una hora al día, su V_t será de 1 hora. Si lo está durante una hora en una semana, su V_t será de 1 hora.

El concepto de V_t se puede generalizar a un conjunto de circuitos, y en tal caso diremos que es la suma de los tiempos de ocupación individuales de todos los circuitos implicados durante el tiempo considerado. Como las unidades de V_t son unidades de tiempo, podemos utilizar horas, minutos o segundos.

Finalmente podemos decir que el V_t correspondiente a un cierto número de llamadas, puede obtenerse fácilmente si se conoce el tiempo medio de duración de las mismas; ecuación 1.1.

$$V_t = nd \quad (1.1.)$$

Siendo “n” número de llamadas y “d” el tiempo medio de duración de las mismas. V_t se obtendrá en las mismas unidades que se exprese “d”.

Por otro lado considerando que V_t por sí solo no da una idea del grado de ocupación del circuito, se debe considerar el concepto de intensidad de tráfico (I_t). Se denomina intensidad de tráfico al cociente entre el volumen de tráfico y el tiempo de observación (t_{obs}), ecuación 1.2.

$$I_t = \frac{V_t}{t_{obs}} \quad (1.2.)$$

La I_t se expresa normalmente en una unidad llamada *Erlang* (E). Un Erlang se define como la I_t correspondiente a un circuito o conjunto de éstos, en los cuales viaja un volumen de tráfico igual al tiempo de observación. Por lo tanto, un circuito individual nunca puede cursar una I_t mayor que un Erlang. Y un conjunto de “N” circuitos nunca puede experimentar una I_t mayor que “N” Erlangs.

En la práctica esta fórmula se representa en forma de tablas curvas o aproximaciones lineales.

1.3. Principios de comunicaciones y transmisión

Las redes digitales son ideales para el transporte directo de datos, pues un medio de transmisión digital porta información en forma de dígitos binarios. Para llevar a cabo dicha transmisión se requiere de una serie de etapas para adecuar las señales analógicas a un medio digital.

1.3.1. Modulación digital

Durante la conversión de la forma analógica a la forma digital y viceversa aparecen tres procesos básicos: el muestreo, la cuantización y la codificación, procesos que se mencionan a continuación.

El muestreo es el proceso mediante el cual a partir de una señal continua (analógica) de entrada se obtiene una señal discreta en el tiempo y continua en el dominio de las amplitudes. El muestreo evita que la señal analógica exista para todo tiempo, lo cual significa que se manejarán valores de la señal que corresponden sólo a instantes aislados de tiempo. En la figura 1.7 se ilustra una señal de voz típica, con la amplitud muestreada en función del tiempo.

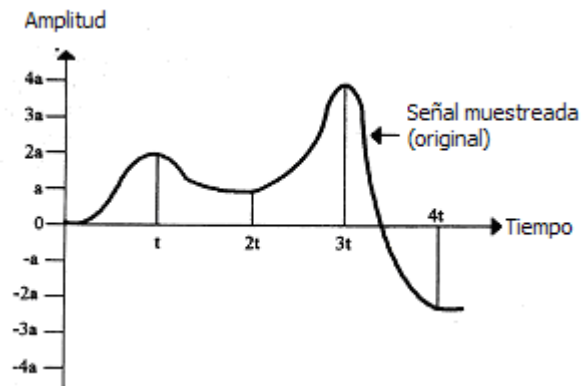


Figura 1.7. Muestreo de una forma de onda

El muestreo se realiza con un intervalo de tiempo predeterminado de "t" microsegundos igual a la frecuencia de la señal. Los valores numéricos de las amplitudes por muestra se ilustran en la tabla 1.1.

Tiempo	Amplitud	Valor numérico decimal
0	0	0
T	2 ^a	2
2t	3 ^a	1
3t	4 ^a	4

Tabla 1.1. Valores numéricos de la onda muestreada.

Si se transmiten las muestras de la señal original, el receptor reconstruiría los pulsos como se ilustra en la figura 1.8.

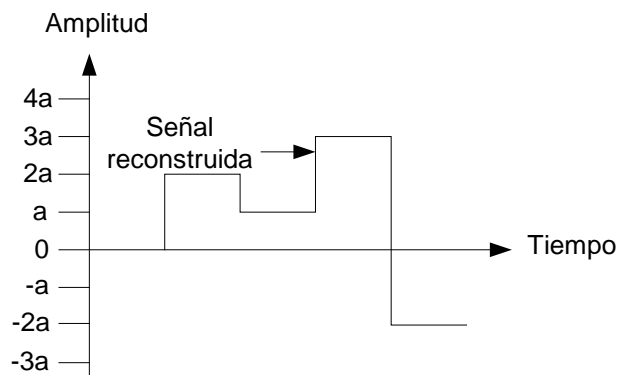


Figura 1.8. Reconstrucción de la forma de onda.

En el ejemplo, la señal tiene forma de onda cuadrada en lugar de la onda original. Esta aproximación afecta la comprensión del oyente en un grado que depende de la magnitud de la imprecisión involucrada. La similitud de la señal reconstruida con la original se puede mejorar mediante:

- El incremento de la velocidad de muestreo (es decir, reduciendo el tiempo de separación de las muestras) a manera de aumentar el número de puntos sobre el eje horizontal de la figura 1.7.

Sin una velocidad infinita de muestreo es imposible reproducir una señal analógica igual a la original. El inconveniente que se presenta para la transmisión, es que entre mayor sea la velocidad de muestreo, mayor es la tasa de bits que se requiere para transportar la señal. Aquí se puede encontrar una similitud con el ancho de banda de un medio de transmisión analógico, en donde entre mayor sea la fidelidad que se requiere de una señal analógica, mayor es el ancho de banda que se necesita.

La velocidad de muestreo mínima aceptable para transportar una señal analógica, empleando transmisión digital, se calcula de acuerdo con el teorema de Nyquist. El teorema establece que la velocidad de muestreo debe ser cuando menos el doble de la máxima frecuencia contenida en el espectro de la señal analógica que se muestrea. Para un canal de voz estándar, si se desea hacer un muestreo con la información de voz de un teléfono que tiene como frecuencia máxima 3.3 kHz, la tasa de muestra debe ser de 6600 pruebas/s. En la práctica, el ancho de banda de un canal telefónico se considera de 0 a 4 kHz; por lo cual, esto equivale a $2 \times 4kHz = 8000$ muestras por segundo.

Tomando la tasa mínima requerida de muestreo de acuerdo al teorema de Nyquist, a la señal analógica de entrada (figura 1.7), se observa que en cada intervalo t , se generan 2 muestras, haciendo de ésta una señal más parecida a la original. Esta nueva señal tiene una mayor sucesión de pulsos que siguen la misma forma de onda. A esta nueva señal generada por el muestreo se le conoce como señal Modulada por Amplitud de Pulsos (PAM, por sus siglas en inglés), figura 1.9.

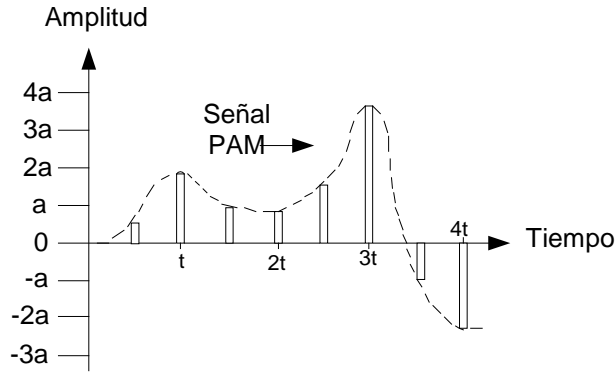


Figura 1.9. Modulación por amplitud de pulsos.

La señal PAM tiene una mayor aproximación de la señal analógica, sin embargo PAM no es un método muy eficaz para transmisión, porque aunque traduzca la forma original de la señal en una serie de pulsos, sigue teniendo amplitud. Para que la transmisión sea adecuada, se debe de cambiar la estructura de la señal PAM, empleando la cuantización.

El proceso de cuantización consiste en la subdivisión de la amplitud de la señal PAM en un predeterminado número de niveles discretos de amplitud, es decir, la cuantización es la representación de la amplitud (continua) de la señal mediante un número finito de valores distintos, en instantes determinados. Debido a que el empleo de decimales haría más complicado el proceso de transmisión e incrementaría el ancho de banda que se requiere, la amplitud se representa únicamente con valores enteros. Cuando la amplitud de la onda no corresponde con un entero exacto, como ocurre en el tiempo $4t$ (figura 1.9) se hace una aproximación. Es decir, se emplea el valor de -2 en lugar del valor exacto de -2.4

Para realizar la cuantización de la señal PAM, se asigna a cada valor de la amplitud de ésta, un nivel de cuantización.

Debido a que las señales que se transmiten son digitales, la base que se toma para determinar los niveles de cuantización es de 2, (dos niveles de amplitud, "1" y "0"), a su vez, el valor de bits que se considera es de 8 por muestra, por lo tanto se tiene la relación de $2^8 = 256$, esto quiere decir que hay 256 niveles de cuantización, los cuales, se pueden representar en forma de escalera, como se muestra en la figura 1.10.

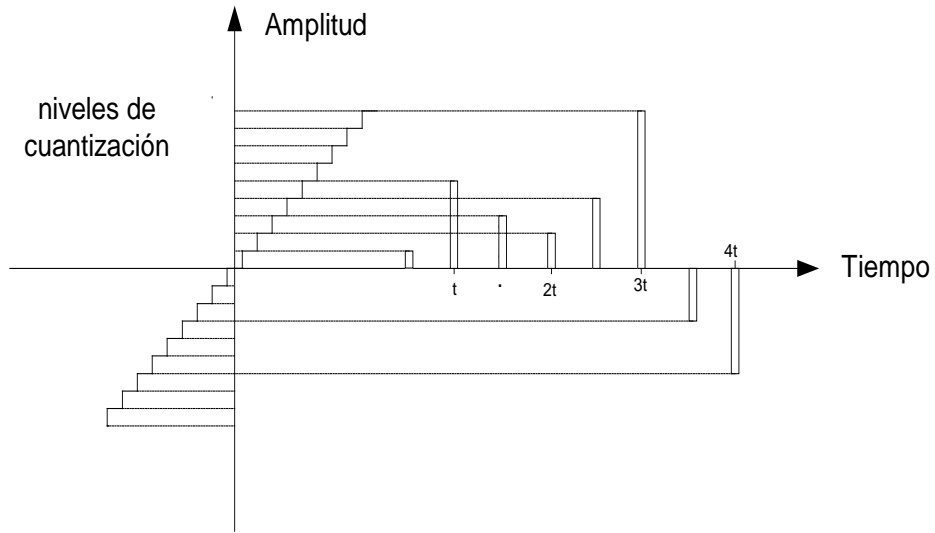


Figura 1.10. Niveles de cuantización.

De la figura 1.10, se observa que para cada valor de amplitud de la señal PAM, se determina un valor de cuantización, ese valor se codifica en valores determinados, generalmente en forma binaria (digital).

La codificación de los niveles de cuantización, es asignar un código (en este caso binario) a cada escala designada. Los valores numéricos de las amplitudes cuantizadas y sus conversiones binarias de 8 bits se ilustran en la figura 1.11.

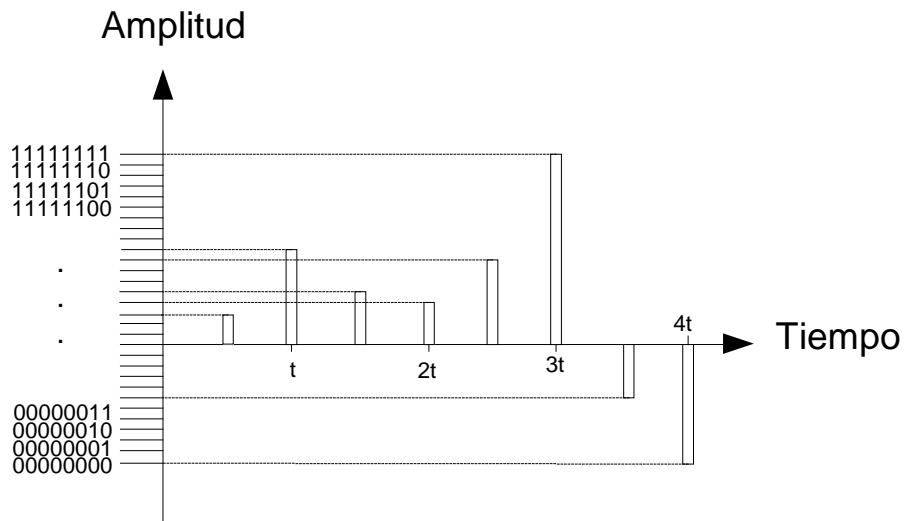


Figura 1.11. Codificación de la de la señal cuantizada.

La señal PAM al ser cuantizada y codificada, se representa finalmente como una señal ya digitalizada, ésta se transmite a través del canal de comunicación, en una sucesión de bits. La nueva forma de la señal se conoce como Modulación por Codificación de Pulsos (PCM, por sus siglas en inglés), figura 1.12.

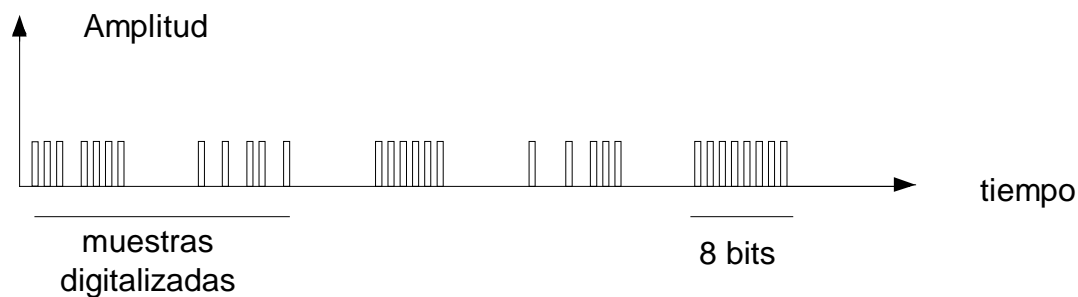


Figura 1.12. Señal PCM.

PCM es la base fundamental para la transmisión de la voz. Así, como se había dicho, en la práctica el ancho de banda usado para la voz es de 0 a 4kHz, tomando en cuenta que la tasa de muestreo (de acuerdo a Nyquist) es de 8000 muestras por segundo, y al considerar una codificación de 8 bits por cada nivel de cuantización, se tiene que:

$$8000 \text{ muestras/s} \times 8 \text{ bits} = 64000 \text{ bits/s}$$

El resultado representa la velocidad necesaria para transmitir una señal de voz analógica en un canal de voz digital. En otras palabras, un canal digital de 64 kbit/s de capacidad es equivalente a un canal telefónico analógico con ancho de banda de 4 kHz. Esta es la razón por la cual el canal digital básico se diseña para operar a 64 kbit/s.

Una de las variantes de PCM, que actualmente se desarrolla para la transmisión de voz, que ayuda a la optimización del ancho de banda, es la Modulación por Codificación de Pulsos Diferencial Adaptiva, (ADPCM, por sus siglas en inglés).

La modulación ADPCM utiliza el hecho de que únicamente uno de los valores de los bits en muestras consecutivas cambiará, es decir, el valor del siguiente muestreo puede ser predecible

y únicamente la diferencia entre el valor predecido y el valor actual es transmitido, a esto se le llama cuantización adaptiva.

Por ejemplo, en la transmisión de voz, en la cual se tiene valores de muestras repetidas, la transmisión repetida representa un desperdicio de capacidad de comunicación porque hay muy poco contenido de información en los valores repetidos. Una forma de superar esta situación es enviar sólo las diferencias codificadas digitalmente, entre valores de muestras sucesivas como se mencionó anteriormente.

En la figura 1.13 se presenta un diagrama de ADPCM, como se observa, el objetivo de colocar una retroalimentación en la trayectoria del bloque codificador al ADPCM, es hacer una predicción del siguiente valor de muestra. El sentido de esto, es que si el sistema puede hacer una buena predicción del siguiente valor muestreado, no hace falta que el codificador envíe tanta información (es decir, el codificador ha eliminado redundancia en los datos).

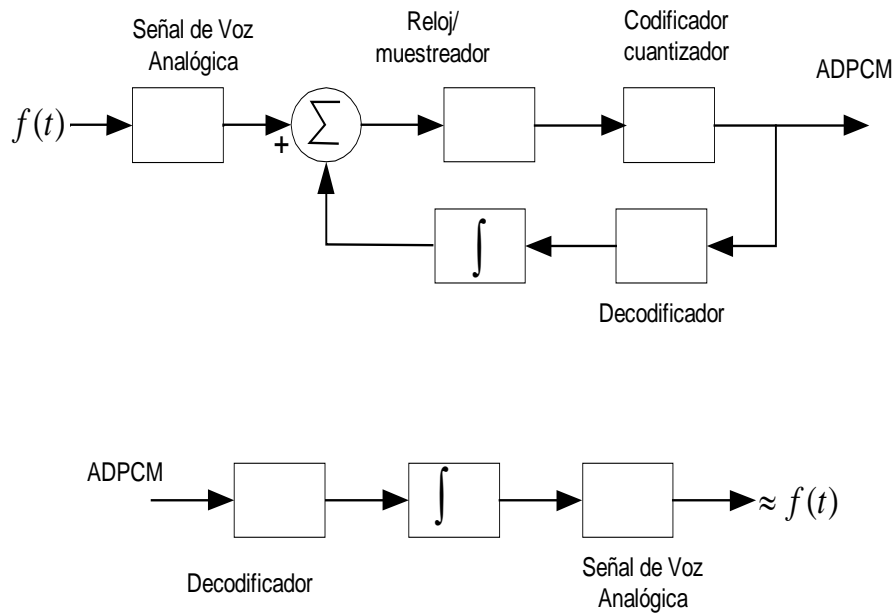


Figura 1.13. Diagramas de bloques de ADPCM.

Ahora bien, si se requiere de una alta compresión, ésta puede ser lograda aplicando métodos y modelos lingüísticos. Los parámetros del habla humana tales como amplitud, frecuencia y tasa

de sílabas, son modeladas y los valores obtenidos son transmitidos como bloques de parámetros.

Multiplexaje por división de tiempo

Como la transmisión digital es a base de pulsos discretos y no de señales continuas, es posible transmitir sobre la misma trayectoria la información de más de un canal de 64k bits/s, siempre que la tasa de transmisión (la tasa de bits) sea lo suficientemente alta para transportar los bits procedentes de varios canales. En la práctica esto se lleva a cabo intercalando los pulsos de los diferentes canales, de tal manera que la secuencia de 8 pulsos (byte u octeto) procedente del primer canal, sea seguida de la secuencia de ocho pulsos que procede del segundo canal y así sucesivamente. Este proceso de multiplexaje se le conoce como Multiplexaje por División de Tiempo (TDM, por sus siglas en ingles). El principio de TDM se ilustra en la figura 1.14, en la que el equipo multiplexor (o TDM) se podría considerar como un interruptor giratorio que capta por vez 8 bits (o 1 byte) de cada uno de los canales de entrada A, B, C. Así, el tren de bits de salida del equipo TDM comprenderá, a su vez, el byte A1 (del canal A), el byte B1 (del canal B), el byte C1 (del canal C), después, reiniciando el ciclo, el byte A2, byte B2, byte C2, etc.

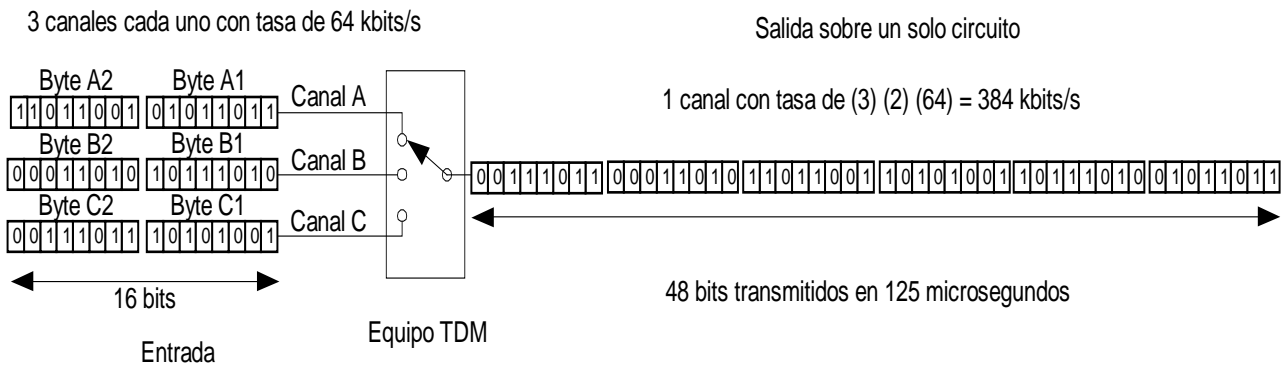


Figura 1.14. Principio de multiplexaje por división de tiempo.

Nótese que se necesita una tasa de bits más elevada en la salida, para asegurar que todos los datos de entrada procedentes de los 3 canales se puedan enviar hacia la línea. Como $3 \times 2 = 6$ bytes de datos se reciben en el lado de entrada en el periodo de $125\mu s$ (1 byte de cada canal $20.83\mu s$), todos ellos tienen que ser transmitidos sobre el circuito de salida en una misma

cantidad de tiempo. Como solamente se emplea un solo canal como salida, esto implica una tasa de $6 \times 8 = 48$ bits en $125\mu\text{s}$, es decir 384 kbits/s (por supuesto, el resultado es igual a 6×64 kbits/s). Así, de hecho, los diferentes canales comparten en tiempo la trayectoria de salida de transmisión.

Este multiplexaje se puede llevar a cabo intercalando un byte a la vez de cada uno de los canales, o se puede realizar mediante la intercalación de bits individuales. La figura 1.14 ilustra el método más común de intercalación de bytes. El empleo de la técnica de TDM es tan común en los sistemas de transmisión digital, que los circuitos físicos que transportan solamente 64 kbits/s son extremadamente raros, de modo que el equipo terminal digital, incluye la función de multiplexaje. La figura 1.14 muestra el equipo terminal digital típico que se emplea para convertir cierto número de canales analógicos individuales en un tren digital de bits único, transportado sobre un circuito físico único.

En la práctica son comunes los sistemas que multiplexan 32 canales. A la señal se salida de dicho sistema se le conoce como E1, que es un estándar europeo de transmisión en sistemas digitales.

El equipo que se ilustra se conoce como multiplexor primario; éste contiene dispositivos para la conversión individual analógica en digital para canales telefónicos de 64 kbits/s y además el equipo para TDM. En la figura 1.15 se muestra el multiplexor que convierte 30 canales analógicos al formato digital de 64 kbits/s y luego multiplexa por distribución de tiempo todos estos canales de 64 kbits/s en un sistema digital único de 2.048Mbits/s (2.048 Mbits/s es igual a 32×64 kbits/s, esto es 30 canales de voz más 2 canales que se emplean para propósitos distintos al de transportar información de voz).

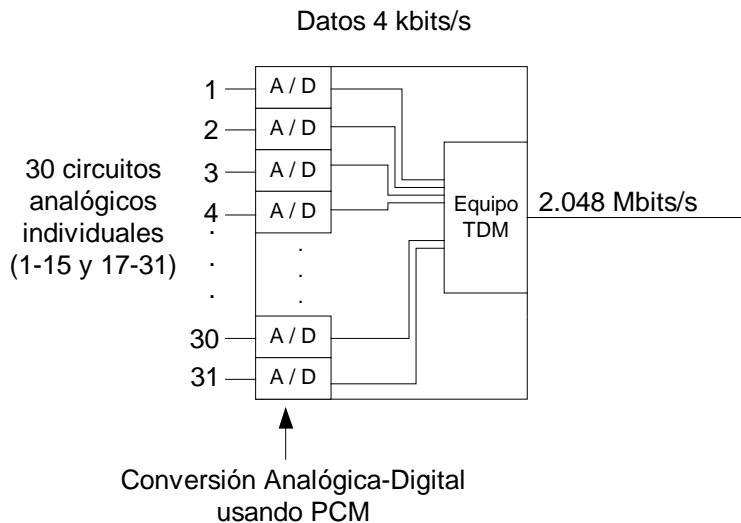


Figura 1.15. Multiplexor primario.

El equipo de transmisión en un sistema digital TDM, tiene el trabajo de multiplexar los bytes que proceden de todos los canales. Inversamente, el equipo de recepción debe decodificar estos bytes precisamente en el orden correcto. Esto requiere sincronía del transmisor y del receptor por lo que patrones particulares de pulsos se transmiten a intervalos predeterminados para que se pueda mantener la alineación y sincronía.

1.3.2. Codificación de línea

La información que se transporta sobre cualquier sistema digital, sin importar su nivel jerárquico, es una secuencia de unos y ceros (marcas y espacios). La secuencia normalmente no se envía en forma directa por el canal de transmisión, sino que primero se arregla de acuerdo con un código de línea. Los códigos de línea ayudan a la sincronía del regenerador intermedio y a la sincronía del receptor distante, maximizando la separación posible entre repetidores y, generalmente, optimizando la operación del sistema de línea. El problema potencial consiste en que si se transmite una secuencia larga de 0's o 1's de manera consecutiva, entonces la línea de transmisión daría la impresión de estar permanentemente prendida o permanentemente apagada transmitiendo una corriente directa hacia la línea. Esto no es recomendable por dos razones: primero, el requisito de potencia se incrementa y la atenuación es mayor en comparación con la atenuación a corriente alterna y segundo, los

dispositivos subsecuentes en la transmisión no pueden distinguir el comienzo ni el final de cada bit individual. En realidad, no pueden decir si la línea aún está viva. El problema se agrava a medida que el número de 0's o 1's se incrementa. Los códigos de línea, por lo tanto, buscan asegurar que se mantenga una frecuencia mínima de cambios en el estado de la línea.

Algunos códigos de línea más usados en la actualidad son:

- Señalización bipolar.
- Señalización de retorno a cero.
- División de Fase o Manchester.
- Código Bipolar de Alta Densidad de Orden 3.

El Código Bipolar de Alta Densidad de Orden 3 es altamente recomendado por el Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía (CCITT, por sus siglas en francés).

Código bipolar de alta densidad de orden 3

El código bipolar de alta densidad de orden 3 (HDB3, por sus siglas en inglés), normalmente es de tres estados, a diferencia de los simples que son de dos estados (prendido/apagado). En este código, los dos estados extremos se emplean para representar las marcas y el estado intermedio se emplea para representar los espacios. Los tres estados podrían ser valores positivos o negativos, y un valor medio de 0. En el caso de fibras ópticas, en donde se emplea la luz, los tres estados podrían ser: apagado, baja intensidad y alta intensidad. En el código HDB3, las marcas alternativas se envían como pulsos positivos y negativos. Alternar la polaridad de los pulsos ayuda a evitar que se transmita corriente directa en la línea.

En el código HDB3 el número de ceros consecutivos que pueden enviarse a la línea no se limita a 3. En este código, el cuarto cero en una secuencia de cuatro es marca (se obliga a ser 1) pero esto se hace de tal manera que el valor cero de la señal original se puede recuperar en el extremo receptor. La recuperación se consigue marcando cada cuarto cero en violación, es decir, con la misma polaridad que la marca anterior, en lugar de marca con polaridad opuesta (el procedimiento normal es polaridad opuesta de marcas consecutivas). La figura 1.16 ilustra el código de línea HDB3.

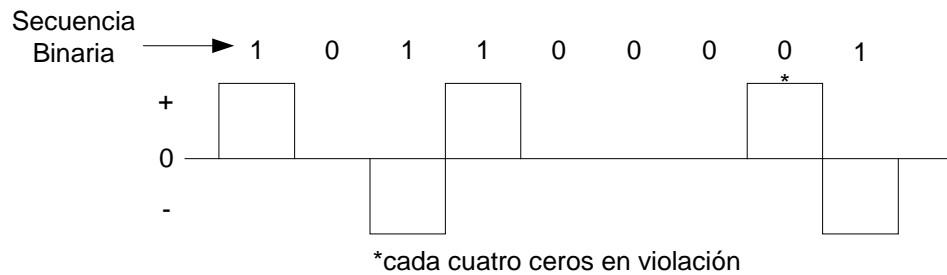


Figura 1.16. Código HDB3.

Como se mencionó anteriormente, los códigos de línea se utilizan para minimizar la atenuación de la señal digital transmitida siendo posible realizar la transmisión de la señal digital a distancias considerables, sin embargo, uno de los efectos que se hace presente en las comunicaciones, es el ruido. El ruido provoca en la transmisión de la señal una distorsión que podría dificultar la comprensión de la señal recibida.

Para distancias grandes el ruido y la atenuación son factores que afectan a la señal, sin embargo, por medio de la regeneración periódica de la señal digital se logra evitar que el ruido afecte de forma significativa a la información.

1.4. Regeneración de señales digitales

En los inicios de la red telefónica, la transmisión analógica se pasaba a través de amplificadores para aumentar los niveles de voltaje de la señal. Pero esta práctica no sólo amplificaba la voz, sino también el ruido, con lo cual la forma de onda analógica era distorsionada y se producía una recepción no deseada.

La transmisión digital ofrece una mayor calidad de transmisión, debido a que se diseña para que permanezca eléctricamente estable en uno de dos estados, el equivalente a prendido (valor binario "1") o el equivalente a apagado (valor binario "0"). Así, una forma simple de sistema digital puede emplear voltaje y transportarse por algún medio físico, controlando su valor para que fluctúe entre dos valores: con voltaje o sin voltaje (a diferencia de la señal analógica que tiene miles de valores de voltaje con respecto al tiempo).

La principal ventaja de la transmisión digital sobre la analógica es la mayor calidad en la transmisión. Con solo dos estados permitidos sobre la línea existen pocas probabilidades de confundirlos, aun cuando la señal sea distorsionada en alguna medida a lo largo de la línea por el ruido, interferencias eléctricas o por alguna otra causa. Así, los sistemas de transmisión digital, son relativamente inmunes al ruido.

Como se muestra en la figura 1.17, el extremo receptor sólo necesita detectar si la señal que se recibe está arriba o debajo de un valor de umbral dado, no importando si la forma del pulso no es exactamente rectangular. Si se permite que el mismo disturbio eléctrico interfiera con una señal analógica, el resultado sería un ruido de bajo volumen sin inteligibilidad.

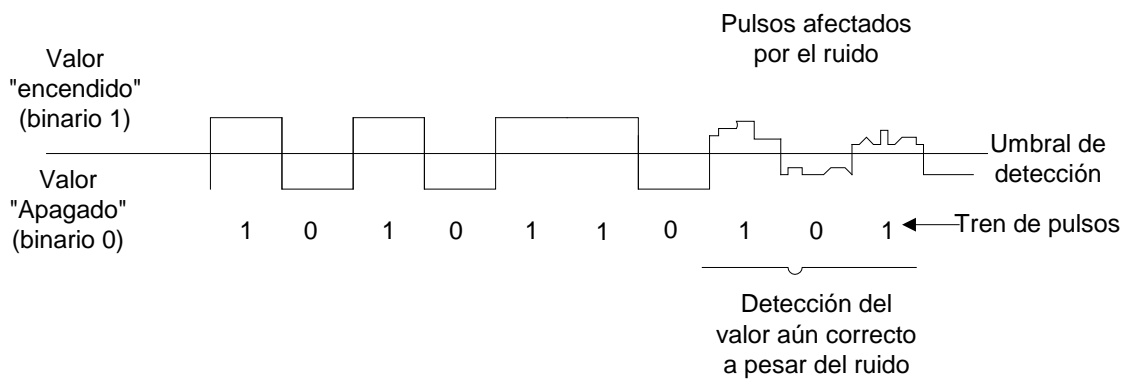


Figura 1.17. Inmunidad al ruido de la señal digital.

Para que la transmisión digital sea aún más inmune al ruido, es práctica normal regenerar la señal en intervalos a lo largo de la transmisión. El proceso de regeneración implica la detección de la señal que se recibe y la creación de una nueva con forma rectangular limpia para su retransmisión, figura 1.18.

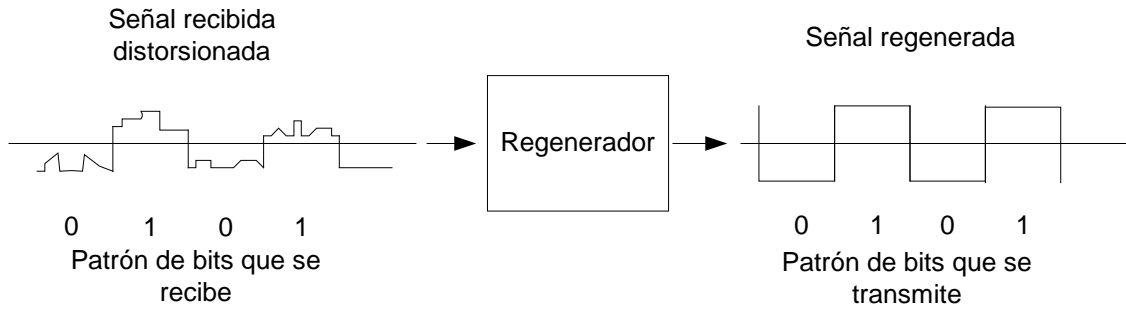


Figura 1.18. Principio de regeneración.

El ruido puede causar errores en la etapa de detección, por ejemplo, haciendo que se recupere un valor de “1” lógico cuando en realidad era un “0” lógico. Sin embargo, la probabilidad de error se puede reducir aumentando la potencia de transmisión, con lo que se incrementa de manera efectiva la amplitud del pulso, pudiendo obtener la probabilidad equivalente a un error en varias horas o aun en días de transmisión.

1.5. Características de las ondas de radio

Una onda de radio es una combinación de campos eléctricos y magnéticos, con la energía dividida entre los dos. Si las ondas pudieran originarse en un punto en el espacio libre, la velocidad a la cual las ondas se expanden sería a la misma velocidad de la luz, ya que la luz es también una onda electromagnética. En el espacio libre, esta velocidad es 300,000,000 metros por segundo.

Una representación típica de las líneas de fuerza eléctrica y magnética en una onda plana es mostrada en la figura 1.19. La naturaleza de la propagación de la onda es tal que las líneas eléctricas y magnéticas son mutuamente perpendiculares, como es mostrado en el dibujo. El plano que contiene el juego de líneas cruzadas representa el frente de la onda. La dirección de viaje de la onda es siempre perpendicular al frente de la onda.

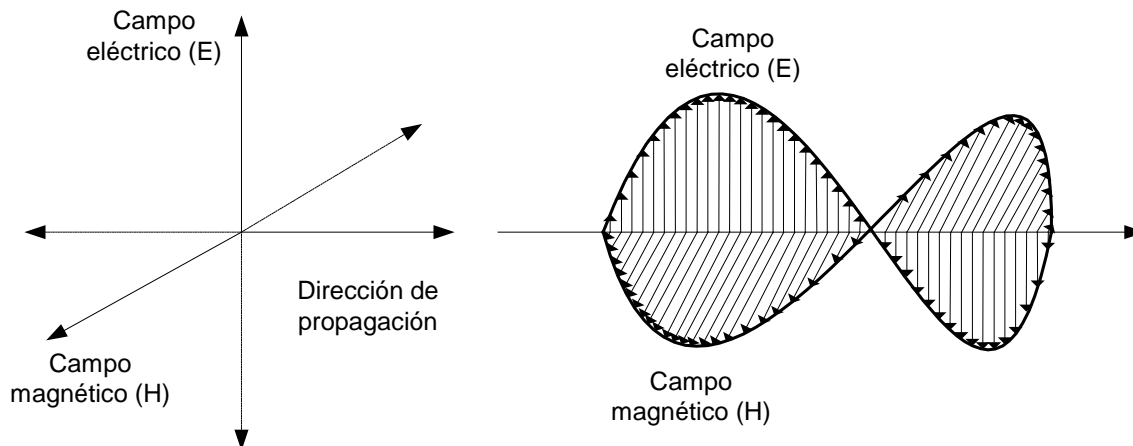


Figura 1.19. Propagación de las ondas electromagnéticas.

Si la onda está viajando a través de cualquier medio diferente al espacio libre, su velocidad no es 300,000,000 metros por segundo, es un poco menor. El qué tanto menor depende de la sustancia o medio a través de la cual la onda está viajando. Sí el medio es el aire, en lugar del espacio vacío, la reducción en la velocidad es tan pequeña que puede ser despreciada en la mayoría de los cálculos. En materiales sólidos aislantes la velocidad es en general mucho menor; por ejemplo, en agua destilada (la cual es un buen aislante) las ondas viajan solamente a un noveno de la velocidad en el espacio.

Los parámetros mencionados anteriormente no son los únicos que describen el comportamiento de la onda, se deben definir también los conceptos de frecuencia y longitud de onda.

1.5.1. Frecuencia y longitud de onda

Debido a que la velocidad a la cual las ondas de radio viajan es alta, caemos en el hábito de ignorar el tiempo que transcurre entre el instante en el que la onda deja la antena trasmisora y el instante al cual la onda llega a la antena receptora. Es verdad que toma solamente un séptimo de segundo viajar alrededor de la tierra, pero existen otros factores que hacen al tiempo un elemento extremadamente importante.

Sabemos que la corriente alterna usada para trabajar en radio puede tener cualquier frecuencia, desde unos cientos de miles hasta billones de ciclos por segundo. Supongamos una señal de

30,000,000 ciclos por segundo, uno de estos ciclos es completado en $1/30,000,000$ de segundo, y dado a que la onda está viajando a una velocidad de 300,000,000 metros por segundo, se habrá movido solamente 10 metros durante el tiempo en el cual la corriente ha recorrido un ciclo completo. Dicho de otra manera, el campo electromagnético a diez metros de distancia de la antena es causado por la corriente que estuvo fluyendo en la antena un ciclo anterior en el tiempo; el campo a 20 metros es causado por la corriente que ha estado fluyendo dos ciclos anteriores, y así sucesivamente.

Ahora si cada ciclo de corriente es simplemente una repetición de ciclo que le precede, la corriente al instante correspondiente en cada ciclo será idéntico, y los campos causados por esas corrientes idénticas también serán iguales. Como los campos se mueven hacia fuera, éstos se vuelven más delgados en superficies largas, por lo que la amplitud decrece con la distancia de la antena. Pero éstos no pierden su identidad con respecto al instante del ciclo al cual fue generado. Esto es, el instante del movimiento aparente de la superficie permanece constante. Éste continúa, y entonces a intervalos de 10 metros medidos desde la antena la frecuencia de las ondas en cualquier instante dado es idéntica.

Con este hecho tenemos la manera para hacer tres definiciones; frecuencia, amplitud y longitud de onda. La frecuencia, es la cantidad de ciclos de la onda que se transmiten en un intervalo de tiempo. La amplitud, es la magnitud de la energía en un frente de onda. La longitud de onda es la distancia entre dos frentes de onda teniendo fase idéntica en cualquier instante dado. En el ejemplo, la longitud es 10 metros porque la distancia entre dos ondas frontales teniendo la misma fase es de 10 metros. La longitud de onda está definida por la ecuación:

$$\lambda = v / f \quad (1.3.)$$

Donde:

λ = longitud de onda

v = velocidad de la onda

f = frecuencia

La longitud de onda será expresada en la misma unidad de longitud que la velocidad siempre y cuando la frecuencia se exprese en la misma unidad de tiempo que la velocidad. Para una onda

viajando en el espacio libre (y lo suficientemente cercano para que las ondas viajen a través del aire) la longitud de onda es:

$$\lambda \text{ (metros)} = 300\,000\,000 \text{ (m/s)} / f \text{ (Hz)} \quad (1.4.)$$

En la figura 1.20 los puntos A, B y C están todos en la misma fase, porque éstos corresponden a instantes en cada ciclo. Esta es una ilustración convencional de una onda senoidal de corriente alterna con tiempo progresivo a la derecha. También representa un punto de la distribución de intensidad de los campos viajando, si la distancia es sustituida por tiempo en el eje horizontal. En este caso la distancia entre A y B o entre B y C representan una longitud de onda. Esto muestra que la distribución de intensidad de campo sigue la curva senoidal; la amplitud y la polaridad corresponden exactamente a las variaciones de tiempo en corriente que producen los campos. Debe recordarse que es una foto instantánea, donde la onda actual viaja al igual que una ola de agua.

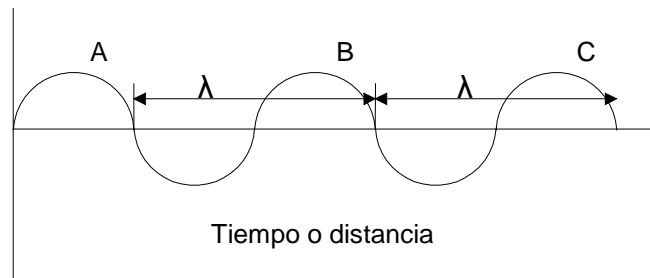


Figura 1.20. Longitud de onda de una señal senoidal.

1.6. Sistemas de radio

La radiocomunicación puede definirse como la telecomunicación realizada por medio de ondas de radio, que son ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial.

Esencialmente, la técnica de radiocomunicación consiste en superponer la información que se desea transmitir a una onda electromagnética de mayor frecuencia (onda portadora) que se propaga en el espacio. La onda portadora y la inserción de la información en la misma se producen en el transmisor. La información se extrae de la onda portadora en el receptor que recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida.

1.6.1. Componentes de un sistema de radio

En general un sistema de radiocomunicación se puede dividir en tres subsistemas: transmisión, propagación de las señales radioeléctricas y recepción.

Transmisión

Tal vez el medio más conocido para transmitir ondas electromagnéticas sea por medio de un conductor, en éste las ondas se inducen y son guiadas mediante una corriente eléctrica que pasa a lo largo de un conductor eléctrico; sin embargo, ésta no es la única forma de propagar las ondas electromagnéticas. Por ejemplo empleando una señal eléctrica muy potente como fuente de transmisión, una onda electromagnética se puede propagar muy lejos a través del aire. Este es el principio del radio.

Una forma de comunicar información mediante ondas de radio es modulando una portadora de alta frecuencia antes de la transmisión. La característica distintiva de una señal portadora de radio es su alta frecuencia en relación con el ancho de banda de las frecuencias de la señal de información. La frecuencia de la portadora debe ser alta para que se pueda propagar mejor como onda de radio, esto se debe a que a mayor frecuencia menor es la longitud de onda y menor es la pérdida de amplitud de la señal transmitida.

La modulación puede seguir un régimen analógico o digital. Un ejemplo de modulación puede ser la modulación de encendido/apagado de la señal.

Después de la modulación, la señal modulada se amplifica y se aplica a la antena. La amplificación refuerza la intensidad de la señal para que la antena convierta la energía de la corriente eléctrica en una onda de radio suficientemente potente.

La figura 1.21 ilustra un transmisor simple de señales de radio: la señal de entrada se filtra y se amplifica; a continuación la señal filtrada modula a la portadora de radio frecuencia (RF), generada por un oscilador de alta calidad; después, la señal modulada se filtra nuevamente para evitar la posible interferencia con otras ondas de radio de frecuencia adyacente. Finalmente, la señal se refuerza en un amplificador de potencia y se transmite a la antena.

La antena convierte la energía eléctrica de alta frecuencia entregada por el transmisor en ondas electromagnéticas que pueden viajar por el espacio, llevando la información hacia uno o varios receptores.

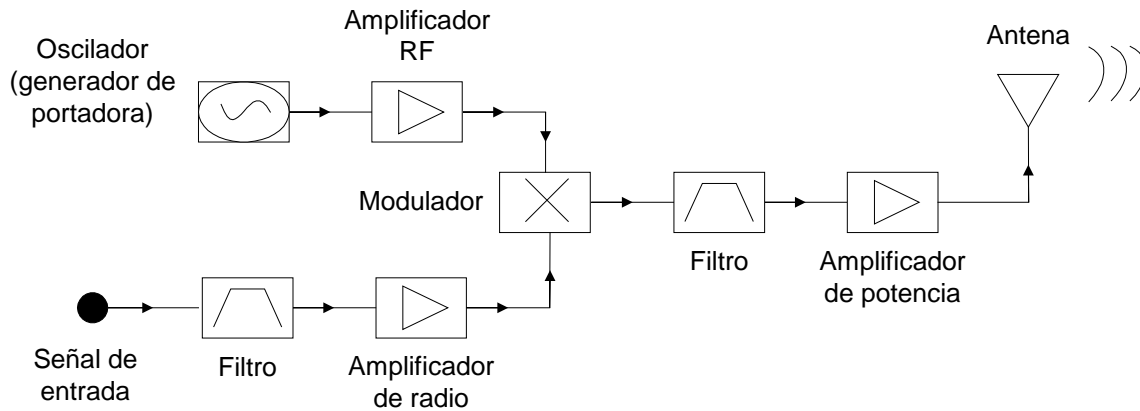


Figura 1.21. Transmisión simple de radio.

Una antena es básicamente un material conductor que está conectado al transmisor. Este conductor es generalmente un alambre de cobre o una varilla de aluminio, material muy utilizado debido a su buena resistencia y bajo peso.

La operación de las antenas se basa en el principio de la radiación producida al circular una corriente eléctrica por un conductor. Esta corriente produce un campo magnético alrededor del conductor, cuyas líneas de fuerza están en ángulo recto con respecto al conductor y su dirección está determinada por la dirección de la corriente. Este campo magnético es variable y sigue las mismas ondulaciones de la corriente eléctrica de alta frecuencia que se le entrega a la antena.

La longitud o tamaño de las antenas está directamente relacionado con la frecuencia de la señal que se va a transmitir. Mientras más alta sea la frecuencia, menor será la longitud de onda y más pequeña debe ser la antena. Las antenas poseen diferentes características a partir de las cuales se puede medir su calidad. Las principales características que se deben tener en cuenta son: la impedancia, la direccionalidad, la ganancia y la polarización.

Impedancia: es la resistencia que la antena presenta en un punto de conexión a la señal de corriente alterna que le llega del transmisor por la línea de transmisión. Esta impedancia debe ser

igual a la impedancia de la línea de transmisión para que haya una máxima transferencia de energía.

Direccionalidad: de acuerdo a su posición y forma, una antena irradia la energía entregada por el transmisor en una disposición específica. Esta disposición recibe también el nombre de patrón de radiación. Según este parámetro, existen dos grupos de antenas: las antenas omnidireccionales, que son las que irradian las ondas en forma casi uniforme en todas las direcciones, y las antenas direccionales, que concentran la energía en una sola dirección. Este patrón de radiación se refiere teóricamente al espacio libre, sin tener en cuenta los obstáculos que pueda encontrar la señal. La direccionalidad de una antena se ilustra mejor con su diagrama de lóbulo, del cual se dan dos ejemplos en la figura 1.22.

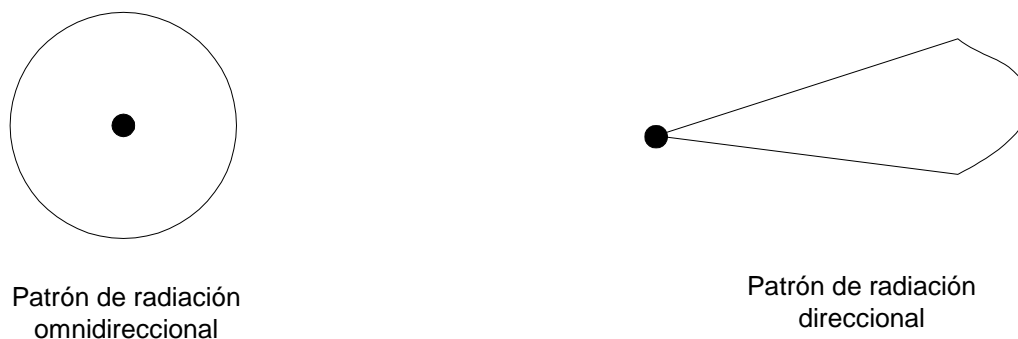


Figura 1.22. Patrón de radiación de las antenas.

Ganancia: Teniendo en cuenta el patrón de radiación, se dice que una antena tiene ganancia no en el sentido que amplifica la señal recibida del transmisor, sino porque la concentra hacia una sola dirección. Este es el caso de las antenas direccionales que dirigen sus ondas hacia una sola área, llegando la señal con más fuerza que si fuera emitida por una antena omnidireccional.

La ganancia de las antenas se mide en decibeles, que es la unidad de medida adoptada para este tipo de parámetros. A mayor cantidad de decibeles, mejor calidad de la antena. Para determinar la ganancia se compara la intensidad de la señal de una antena omnidireccional sin ganancia y la intensidad de la señal emitida por una antena direccional. La relación de estas señales se utiliza para obtener los decibeles de ganancia.

Polarización: La polarización de una antena se refiere a la dirección del campo eléctrico dentro de la onda electromagnética emitida por ésta. Las antenas verticales emiten un campo eléctrico vertical y se dice que están polarizadas verticalmente. Las antenas horizontales tienen, por lo tanto, polarización horizontal.

Para que haya una buena comunicación entre dos estaciones, éstas deben tener el mismo tipo de polarización. En el caso de la banda civil, se utilizan preferiblemente las antenas verticales tanto para las estaciones fijas, como para las estaciones móviles.

Cada sistema individual de radio debe desempeñar tareas ligeramente distintas. Las cualidades que distinguen a los sistemas de radio son:

- Su alcance.
- La potencia de señal que recibe.
- Su direccionalidad.

El diseño de la antena tiene un efecto significativo en el alcance de los sistemas de radio, la direccionalidad y la potencia de la señal.

En la actualidad existen una gran variedad de antenas cada una con características particulares de transmisión. Algunas antenas típicas son:

- Parabólicas
- Yagi
- De tipo bocina
- Placas impresas que forman arreglos de antenas (*Arrays*, en inglés)

El tipo de antenas que se utilizan para telefonía inalámbrica, ya sea celular o fija, son las de tipo *Array*.

Un *array* es una agrupación de antenas, todas ellas alimentadas desde una terminal común que radían o reciben señal de manera conjunta. Los elementos de un *array* son alimentados con amplitudes y fases adecuadas, de modo que sus campos de radiación interactúan uno con otro, produciendo una radiación total deseada, que es la suma de las radiaciones individuales. El

propósito de una *array* es de incrementar la direccionalidad de un sistema de antenas y concentrar la potencia de radiación en una pequeña área geográfica.

Los elementos que conforman un *array* pueden ser cualquier conjunto de antenas. Habitualmente son antenas eléctricamente pequeñas como los dipolos, u otros tipos de antenas como placas impresas, ranuras, etc. En la figura 2.23 se muestra el tipo de antena de placas impresas.

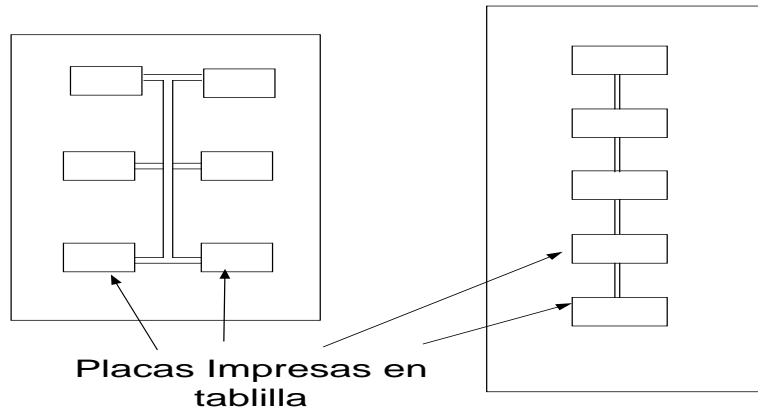


Figura 1.23. Antena de placas impresas.

Las agrupaciones de las pequeñas antenas mostradas en la figura 1.23, son placas impresas en una tablilla. La forma de dichas placas y su distribución depende del patrón de radiación deseado, así como de la longitud de onda de la señal a transmitir.

Este conjunto de antenas (placas impresas) se utiliza en las estaciones base o radio bases de telefonía móvil o fija. En estos casos la anchura de haz en el plano vertical (típicamente entre 10° - 20°) la da la estructura del conjunto de antenas, mientras que el ancho de haz en el plano horizontal (60° ó 120°) viene fijado por el elemento radiante, que se diseña para cubrir un sector de una celda.

Medios de propagación

Cuando las ondas de radio se transmiten desde un punto, se dispersan y se propagan como frentes de onda esféricos.

Las ondas de radio y de luz son formas de radiación electromagnética y presentan propiedades similares.

Existen 4 modos particulares de propagación de ondas de radio. Un sistema de transmisión de radio normalmente se diseña para aprovechar alguno de estos medios de propagación:

- Propagación por línea de vista.
- Propagación por onda de tierra (difracción).
- Propagación por dispersión troposférica (reflexión y refracción).
- Propagación por onda de cielo (refracción).

Para nuestros fines sólo es necesario mencionar la propagación por línea de vista, ya que para el sistema propuesto es la única que se utiliza.

Propagación por línea de vista

Un sistema de transmisión por línea de vista, como el de microondas, se apoya en el hecho de que las ondas viajan en línea recta. Éste es quizás el tipo más simple de sistema; siempre que el receptor esté dentro de la línea de vista del transmisor, entonces la propagación de la señal por línea de vista será posible. El alcance de un sistema de línea de vista está limitado por el efecto de la curvatura de la tierra, como lo muestra la figura 1.24.

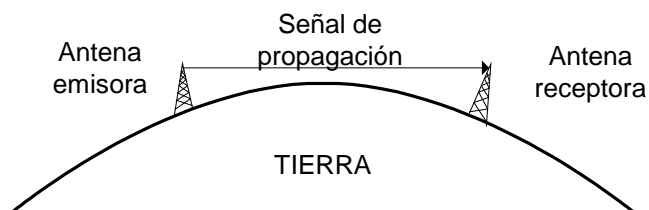


Figura 1.24. Propagación por línea de vista.

Recepción

La figura 1.25 ilustra un receptor simple de radio, sus componentes son similares a los del transmisor de la figura 1.21.

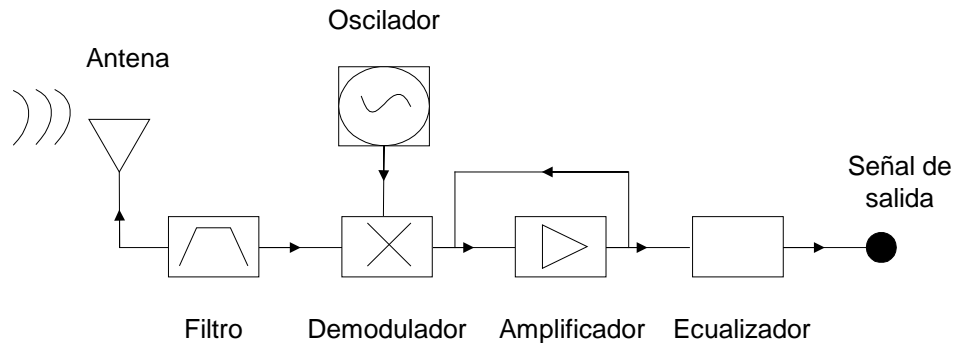


Figura 1.25. Receptor simple de radio.

Las ondas de radio se reciben en la antena y se convierten en corriente eléctrica. Un filtro elimina las señales extrañas e interferentes antes de la demodulación. Como alternativa al filtro, se puede emplear un circuito de sintonía con la antena. Este circuito permite que la antena seleccione las frecuencias que se requiere transmitir o recibir. Posterior a esta etapa se efectúa la demodulación. En el receptor de la figura 1.25 la demodulación se realiza mediante la eliminación de la señal equivalente a la frecuencia portadora del transmisor, dejando sólo el audio original o señal de información. Después de la demodulación, la señal de información se procesa para reproducir la señal de audio original lo más fielmente posible. En el siguiente bloque, la señal se intensifica mediante un amplificador con control de ganancia, para asegurar que el volumen de la señal de salida sea constante, aun si la señal de onda de radio recibida ha sido sometida a desvanecimiento intermitente. Finalmente, la salida se ajusta para eliminar las diferentes distorsiones de señal, conocidas como retardo de grupo y distorsión de frecuencia, mediante dispositivos ecualizadores.

La comunicación entre el transmisor y el receptor deberá ser total, segura y de calidad entre cualquier persona, en cualquier instante tratando de evitar grandes retardos. Para lograr este tipo de comunicación es necesario utilizar eficientemente el espectro de frecuencias, esto puede conseguirse mediante el uso de diferentes técnicas de acceso múltiple.

1.7. Técnicas de acceso en sistemas inalámbricos

Los sistemas de telefonía inalámbrica exigen un aprovechamiento eficiente del espectro para garantizar un canal de comunicación de alta capacidad y elevada calidad.

Existen diferentes técnicas de acceso múltiple que permiten optimizar el uso de dicho canal, mediante la asignación de una única frecuencia, tiempo o código a cada usuario. Las técnicas de acceso más relevantes se presentan a en los siguientes apartados.

1.7.1. Acceso múltiple por división de tiempo

En los sistemas inalámbricos que emplean acceso múltiple por división de tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés) se tiene gran cantidad de usuarios que comparten el tiempo de uso de una frecuencia portadora común, para comunicarse con su estación base. A cada usuario se le asigna una ranura de tiempo dentro de una trama de comunicación dada para transmitir información. En el caso de establecer comunicación entre una estación base y un usuario, la estación base radia a sus usuarios activos, mediante un formato TDM. En el sentido inverso, cada usuario activo transmite solamente en su ranura de tiempo correspondiente. Entre ranura y ranura de tiempo deben dejarse los denominados tiempos de guarda, para evitar la interferencia entre los usuarios, producto de los diferentes tiempos de propagación.

Cada ranura de tiempo de la trama posee: bits de datos (información), bits de sincronía y control, tiempos de guarda, corrección de errores (CE), etc. TDMA tiene la ventaja de poder ajustar la velocidad de flujo de información hacia y desde un usuario en particular, con la simple asignación de más ranuras a ese usuario. Otra ventaja radica en el hecho de que las limitaciones de potencia de transmisión son menores, ya que las interferencias entre usuarios se controlan con la asignación de las ranuras de tiempo. La figura 1.26 muestra gráficamente un TDMA.

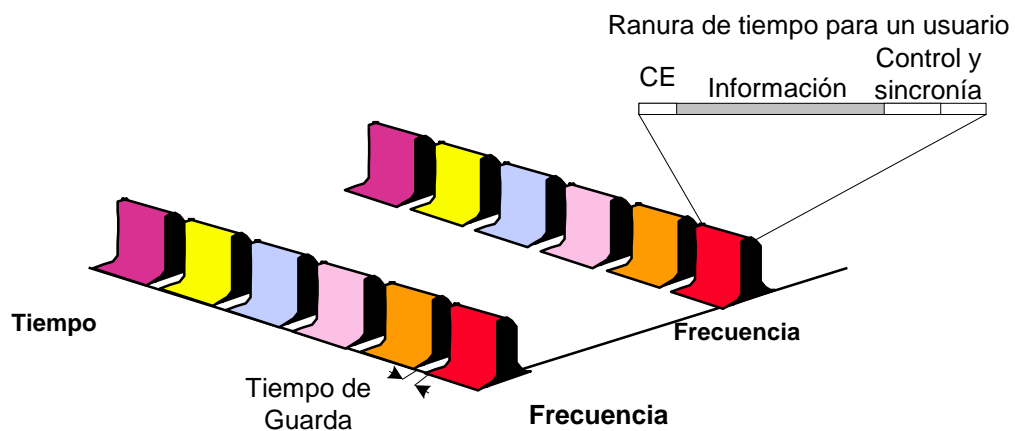


Figura 1.26. TDMA.

1.7.2. Acceso múltiple por división de frecuencia

En el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA, por sus siglas en inglés) a cada usuario de una estación base se le asigna una frecuencia completa del ancho de banda disponible, con la ventaja de poder transmitir en todo momento. Entre las frecuencias asignadas a cada usuario debe dejarse una pequeña banda de guarda que evite la interferencia entre uno y otro. Existen limitaciones en cuanto a la potencia de transmisión para evitar interferencias entre usuarios. La figura 1.27 muestra gráficamente el formato FDMA.

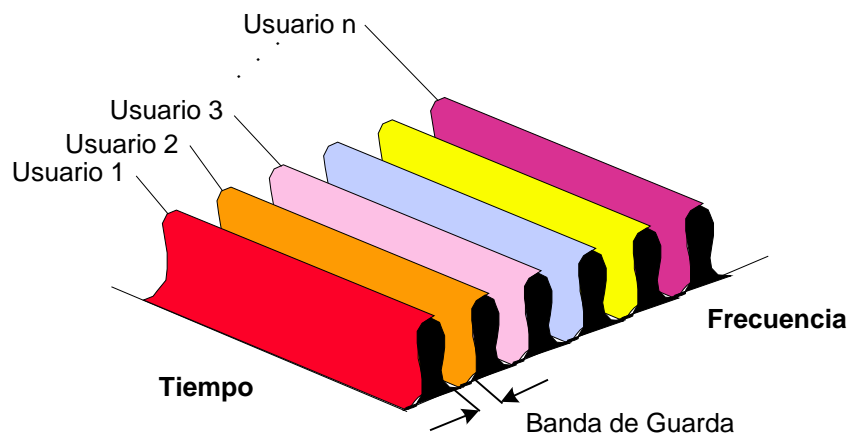


Figura 1.27. FDMA.

Alguna de las características del FDMA son:

- Adecuado para sistemas de baja/mediana capacidad.
- Escasa versatilidad para acomodar distintos flujos de tráfico.
- Resistencia a las perturbaciones.
- Equipos poco robustos.

Muchas veces FDMA se combina con TDMA; dentro de cada celda se utiliza TDMA, mientras que diferentes frecuencias de portadora, FDMA, son usadas en cada una de las celdas del sistema. La reutilización de frecuencias es permitida únicamente si las celdas en cuestión están lo suficientemente separadas como para minimizar las interferencias.

1.7.3. Espectro expandido

Este método difiere de otras tecnologías de radio en que expande la señal transmitida sobre una amplia gama de frecuencias, utilizando un ancho de banda mucho mayor que el necesario por la velocidad de transmisión utilizada. Para ello, mezcla la información transmitida con un patrón de expansión que puede modificar la frecuencia o la fase (o ambas) de la información original, haciendo que ésta sea extremadamente difícil de detectar por cualquier sistema que no tenga el mismo código de expansión utilizado en el transmisor. Por otra parte, al distribuir la señal en una gama de frecuencias, se está también expandiendo la potencia promedio transmitida, lo que es visto por otros dispositivos no acoplados con el transmisor, como una pequeña interferencia que pueden descartar, permitiendo así que varios sistemas coexistan compartiendo las mismas frecuencias. En la figura 1.28 se ilustra el comportamiento del espectro expandido.

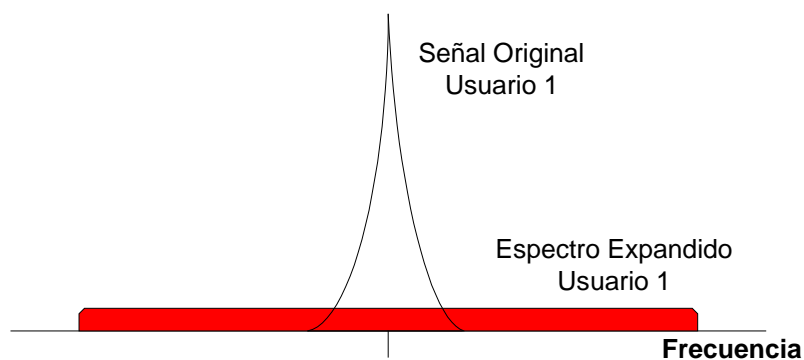


Figura 1.28. Espectro Expandido.

1.7.4. Acceso múltiple por división de código

La técnica de acceso múltiple por división de código (CDMA, por sus siglas en inglés) está basada en el método de espectro expandido que consiste en asignar a la señal digital que será transmitida un código digital de banda ancha, este código es llamado código de expansión.

Con la aplicación de la técnica CDMA, lo que se busca es poder soportar de manera simultánea, múltiples usuarios dentro del mismo ancho de banda, figura 1.29. Cada receptor CDMA recobra solamente la información que es dirigida a éste, y el resto de las señales las interpreta como ruido blanco. Lo que se hace en CDMA, a diferencia de TDMA y FDMA, es no hacer asignaciones ni de ranuras de tiempo ni de frecuencias. Una estación base en CDMA, puede

comunicarse simultáneamente con múltiples usuarios utilizando el mismo canal para la transmisión, esto se logra asignando a cada usuario un código diferente. La señal que porta la información se debe expandir en frecuencia para lograr su distinción entre las demás, utilizando un código asignado.

El receptor, conociendo el código utilizado por el transmisor, puede recuperar la señal mediante un decodificador y regresar la señal a su forma normal. El ancho de banda de la señal codificada debe ser mucho mayor que el de la señal que porta la información.

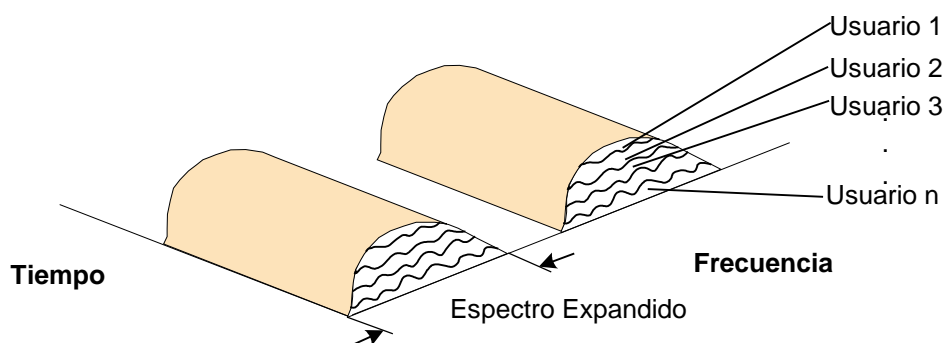


Figura 1.29. CDMA.

La figura anterior muestra que en un ancho de banda se puede agregar un gran número de usuarios, asignando un código diferente a cada uno de ellos.

1.7.5. Salto de frecuencias

Para aplicaciones comerciales, existen algunas técnicas de modulación en espectro disperso, la más usada es la técnica de salto de frecuencia (*Frequency Hopping; FH* por sus siglas en Inglés). En ésta, la información se transmite brincando de manera pseudo aleatoria en intervalos de tiempo fijos, de un canal de frecuencia a otro en la banda total. Únicamente aquel receptor sincronizado con el transmisor y que tenga exactamente el mismo código de salto podrá brincar a las frecuencias correspondientes y extraer la información, figura 1.30.

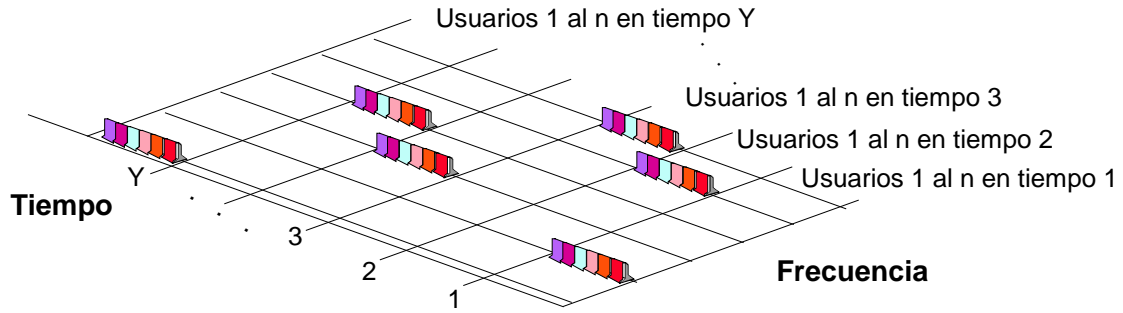


Figura 1.30. Salto de frecuencia.

Una vez que se han presentado los conceptos básicos de telefonía que ayudarán a entender los capítulos posteriores, se puede continuar con la exposición del estado actual del servicio telefónico en la Ciudad de Monterrey y precisar una solución a la problemática.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El propósito de este capítulo es mostrar la situación actual que presenta el servicio de telefonía en el área conurbana de la ciudad de Monterrey, también describir los problemas que se presentan para cubrir la demanda del servicio, así como las tecnologías que pueden dar solución al problema, esto último con el fin de determinar la solución más viable. Por último se presentan los estudios de campo realizados en esta investigación que ayudarán a establecer los requerimientos del sistema.

2.1. Situación actual

Debido a su gran desarrollo industrial, la Ciudad de Monterrey ha crecido desmesuradamente en los últimos años, a tal grado que muchos de los servicios habituales en esta ciudad (tales como centros comerciales, servicios de gas subterráneo y servicios de telecomunicaciones residenciales) no han podido extender sus áreas de influencia a la misma velocidad con que crece la mancha urbana. Aunado a esto, la orografía de la entidad y la desorganizada expansión de sus pobladores, dificultan considerablemente el avance de

las comunicaciones tradicionales, por lo cual, la extensión de la red telefónica en Monterrey ha sido lenta e insuficiente.

Con base en estudios (socioeconómicos, de demanda, etc.) realizados por la compañía de servicio telefónico local (a la cual en lo sucesivo llamaremos operador), determinó que las zonas de mayor problema están en dirección a los cuatro puntos cardinales de la ciudad de Monterrey; en las cuales se necesita desarrollar una red telefónica residencial de forma inmediata para satisfacer las demandas de los nuevos fraccionamientos. Sin embargo, existen ciertos factores que impiden que el crecimiento de dicha red sea rápido, tales como:

- Ciertos fraccionamientos en Monterrey, tales como, Monte Cristal y Arboledas de San Roque, limitan el crecimiento de la red de cobre, ya que no permiten la instalación de postes para el tendido aéreo ni perforaciones para las instalaciones subterráneas y no se encuentran dentro del perímetro de cobertura de las centrales telefónicas.
- La infraestructura existente dentro de la zona El Barrial, es inadecuada para cubrir la demanda del servicio telefónico, ya que por el alto crecimiento de la población, la red de cobre no cubre con la demanda deseada. Por otro lado, la instalación del cableado es extremadamente laboriosa y requiere de mucho tiempo, debido a que la distancia entre las casas de los abonados supera en algunos casos los 1.5 km.
- Existen además, restricciones burocráticas, sociales, económicas y geográficas, por las cuales la instalación de la red no es costeable para el operador, y a veces, dichas restricciones impiden la realización del proyecto.

2.2. Análisis de la propuesta

Debido a la problemática antes mencionada, el operador del servicio telefónico en la ciudad de Monterrey estudió varias soluciones al problema, mismas que a continuación se describen:

- *Red telefónica convencional (PSTN, por sus siglas en inglés).* Implementada por medio de cables de cobre que salen desde una central telefónica. Tiene la ventaja de que la calidad de los servicios de voz y datos es excelente, sin embargo, sólo puede cubrir un rango de hasta 2 kilómetros de radio a partir de la central telefónica. Supone además

un alto costo de inversión y una lenta implementación del servicio pues se deben instalar postes, cables, distritos de conexión e infraestructura en la central telefónica.

- *Fibra Óptica*. Ofrece un gran ancho de banda en la transmisión de paquetes de información y la calidad de servicio es inmejorable. Sin embargo, de igual forma que con la red telefónica convencional, representa una inversión económica muy fuerte debido a la complejidad de los sistemas de intercomunicación, además de que también tiene la desventaja de que su instalación es muy tardada.
- *Radio Analógico*. Es una buena opción en lugares donde no se cuenta con servicio telefónico, pero tiene poca capacidad de usuarios, además, es muy susceptible ante las interferencias. Una gran desventaja es que se trata de tecnología punto a punto.
- *Telefonía Celular*. Se trata de un sistema de gran calidad de transmisión que permite ser utilizado en cualquier ámbito, su alto costo resulta un problema económico para los usuarios y la cobertura se limita a pequeñas células que obligan al operador de telecomunicaciones a establecer una gran cantidad de sistemas para dar cobertura en amplias áreas.
- *Sistema de Acceso Local Inalámbrico (WLL, por sus siglas en inglés)*. Tecnología de transmisión digital que brinda al usuario un servicio telefónico de precio accesible; su versatilidad permite usarlo en áreas urbanas, suburbanas e incluso rurales, pues su cobertura alcanza hasta 32 kilómetros. El tiempo promedio de instalación es de una semana por cada radio base del sistema, lo cual es una gran ventaja. Las capacidades de esta tecnología están basadas en la aplicación de diversos sistemas diseñados para solucionar las necesidades de servicio. El sistema WLL permite la conexión de abonados para telefonía y de datos sobre módem por medio de radio enlaces.

La tabla 2.1 muestra una comparación de las diferentes tecnologías disponibles en relación con el costo, la cobertura, la rapidez de instalación y el grado de dependencia de cada una de las tecnologías con la orografía.

Como se observa en la tabla, las tecnologías que ofrecen una mejor solución son: WLL, telefonía celular y radio analógico, sin embargo, debido a que el radio analógico no puede ofrecer ninguno de los servicios digitales (identificador de llamadas, llamada en espera, conferencia tripartita, etc.) el operador de servicio telefónico se decidió por la tecnología WLL.

SOLUCIÓN	COSTO DEL SERVICIO	COSTO DE INSTALACIÓN	COBERTURA	TIEMPO DE INSTALACIÓN	VERSATILIDAD (si ofrece otros servicios)	GRADO DE DEPENDENCIA DE LA OROGRAFÍA
<i>Red telefónica convencional</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Corto alcance (3 km.)</i>	<i>Largo plazo</i>	<i>Sí</i>	<i>Alto</i>
<i>Fibra óptica</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Muy largo alcance (más de 100 km.)</i>	<i>Largo plazo</i>	<i>Sí</i>	<i>Alto</i>
<i>Radio analógico</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio alcance (35 km.)</i>	<i>Corto plazo</i>	<i>No</i>	<i>Medio</i>
<i>Telefonía celular</i>	<i>Muy alto</i>	<i>Alto</i>	<i>medio alcance (20 km.)</i>	<i>Corto plazo</i>	<i>Sí</i>	<i>Medio</i>
<i>WLL</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio alcance (32 km.)</i>	<i>Corto plazo</i>	<i>Sí</i>	<i>Medio</i>

Tabla 2.1. Comparación de sistemas de telefonía.

La tabla muestra también las ventajas de la tecnología WLL respecto con las demás alternativas de solución, dado que la rapidez de instalación y el bajo costo en el servicio son las principales características que toma en cuenta el operador del servicio. Cabe señalar que dicha tecnología presenta ventajas adicionales, como son:

- *Un sistema WLL tiene un diseño punto fijo-multipunto fijo (transmisión de antena fija a varias antenas fijas). La transmisión establecida en el diseño de WLL está basada sobre los 20 dB/década, es decir, el patrón observado es el aumento de la atenuación en 20 dB cada vez que la potencia disminuye en un factor de 10. Un sistema celular tiene un diseño punto fijo-multipunto móvil (transmisión de una antena fija a varias antenas móviles), su transmisión está generalmente basada sobre los 40 dB/década, el patrón de la señal disminuye 40 dB cada vez que la potencia disminuye en un factor de 10. Esto implica que el sistema WLL tenga una mejor calidad de recepción y menos susceptibilidad a las perturbaciones del medio con respecto a la telefonía celular.*
- *En un sistema WLL, el ancho de banda puede ser optimizado por medio de la reutilización de frecuencias, la cual permite un incremento en la capacidad del sistema. Esto es, en un sistema WLL dentro del ancho de banda disponible puede haber las mismas frecuencias en células adyacentes, en telefonía celular esto no es posible, ya*

que el ancho de banda disponible, se debe dividir entre cada célula; generalmente se hace en grupos de 7 células adyacentes cada uno, con diferentes frecuencias en cada célula.

- *En un sistema WLL no ocurre movilidad para cambiar de células, debido a que es un enlace punto fijo-multipunto fijo, por lo tanto, en los sistemas WLL no hay degradación de la señal ni pérdida del enlace, las cuales en ocasiones son producidas por el cambio de células en la telefonía celular.*

Una vez analizadas las ventajas y desventajas de las distintas tecnologías que pueden ser utilizadas para solucionar el problema que se presenta en la ciudad de Monterrey, el operador acepta como mejor alternativa el sistema WLL sugerido por la compañía que proporcionará el equipamiento de telefonía inalámbrica fija (a la cual en lo sucesivo llamaremos proveedor) para brindar cobertura en las zonas que requieran el servicio de telefonía en dicha ciudad.

Para poder utilizar un sistema WLL y dar servicio a un área, se deben tomar en cuenta los siguientes procedimientos que ayudarán a determinar el o los sitios óptimos para la instalación del sistema.

1. *Obtener la información referente al área de demanda del servicio telefónico que el operador desea cubrir, así como todos los sitios donde el mismo operador cuenta con infraestructura que pueda satisfacer dicha demanda (espacio para gabinetes, torre, suministro de alimentación eléctrica, etc.).*
2. *Simular, con ayuda de un programa dedicado al sistema WLL, los patrones de radiación propios de las antenas a fin de determinar la cobertura de cada uno de los sitios.*
3. *Con base en los resultados de la simulación y con los datos de infraestructura que proporciona el operador, se depura la información de los sitios, y se seleccionan únicamente aquellos que ofrecen una mejor cobertura en las áreas de interés.*

De acuerdo al análisis de los puntos anteriores, se realizan dos tipos de estudio: el estudio de campo y el de radio interferencia, los cuales nos permitirán definir la infraestructura adecuada para brindar el servicio de telefonía.

Estudio de campo

Como parte del estudio de campo se debe realizar un análisis visual de los sitios seleccionados para corroborar la existencia de la infraestructura necesaria. Durante este proceso se selecciona el espacio en el sitio para la instalación de los *bastidores* de telefonía inalámbrica, el espacio para las antenas en la torre, así como la posición del fusible en el panel del suministro de energía eléctrica, el cual suministrará la adecuada protección eléctrica, localización de la barra de tierras dentro de la sala y en la torre, además de que exista al menos una trayectoria para tender el cable desde la sala hasta la torre, dicha trayectoria deberá ser independiente del cableado del suministro de energía.

La cobertura de cada uno de los sitios se determina por medio de un estudio de línea de vista desde la torre, para verificar que el área de interés pueda tener servicio desde el sitio. Con la ayuda de mapas se dibujan las zonas de cobertura y las de sombra, éstas últimas producidas por la vegetación, la orografía del terreno y construcciones.

Una vez determinados los mejores sitios para cubrir las áreas de demanda se necesita hacer un estudio de radio interferencia en cada uno de ellos.

Estudio de radio interferencia

La finalidad del estudio de radio interferencia es delimitar el rango de frecuencias que podrá ser utilizado por el sistema WLL dentro del ancho de banda asignado al operador.

Este estudio consiste en hacer un reconocimiento del ancho de banda auxiliándose de un analizador de espectros, una antena direccional y amplificadores, como se muestra en la figura 2.1.

Las lecturas deben ser tomadas en patrones sectorizados y se obtienen al montar una antena direccional en la torre con la misma orientación que se instalaría el sistema y para cada uno de los sectores hasta completar un muestreo omnidireccional, la señal es captada por la antena y llevada por un cable coaxial hasta el amplificador y de éste al analizador de espectros; del cual obtendremos información del ancho de banda asignado al operador.

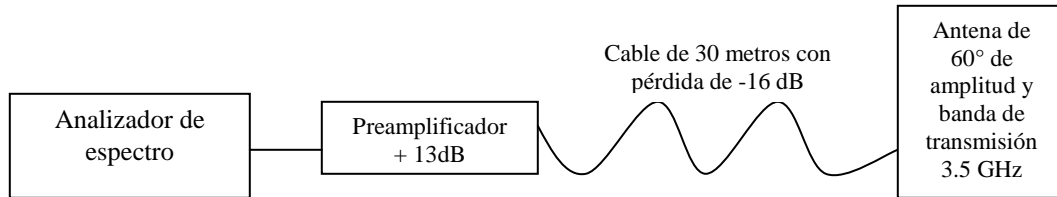


Figura 2.1. Arreglo para las lecturas de radio interferencia.

Los resultados de los análisis hechos al ancho de banda determinarán el rango de frecuencias en el cual se sintonizarán las radio bases.

Después de haber determinado la solución al problema de telefonía en la ciudad de Monterrey, y de haber presentado en forma general la metodología requerida para la implantación de dicha solución, se procederá a realizar la descripción del sistema telefónico inalámbrico fijo.

CAPÍTULO III

SISTEMA MULTI-GANANCIA

En el presente capítulo se explicará como está estructurado el Sistema Multi-Ganancia (SMG) en cada uno de sus componentes, así como la funcionalidad de los mismos. Se mencionarán los parámetros cualitativos a los cuales está sujeto el proveedor para poner en marcha la implementación del sistema, además se revisarán las tecnologías bajo las cuales se fundamenta el sistema.

El SMG es un sistema de acceso local inalámbrico (WLL, por sus siglas en inglés), que se utiliza para conectar el teléfono, módem telefónico y abonados ethernet a una central telefónica local, por medio de enlaces de radio, en sustitución de las comunicaciones a través de la planta exterior de distribución de cobre tradicional. En la práctica el SMG se puede expandir y perfeccionar continuamente para incrementar su eficiencia y reducir los costos, así como para cubrir los requerimientos de los nuevos operadores.

3.1. Introducción al SMG

El SMG asegura una solución completa e integral que cubre todos los aspectos relacionados con la implementación del sistema de acceso local inalámbrico y que, por tanto, proporciona una respuesta inmediata para los lugares en los que las soluciones convencionales no

resultan oportunas ni factibles desde el punto de vista de los costos. Este tipo de sistemas se han aplicado exitosamente a una gran variedad de ambientes, tales como, nuevos asentamientos urbanos y suburbanos sin infraestructura de cobre, áreas urbanas con la infraestructura saturada, áreas históricas donde las excavaciones están prohibidas, servicios temporales o extensión de servicios durante exhibiciones, convenciones, servicios de emergencia en áreas de desastre, aseguramiento de servicio en áreas rurales con población dispersa, etc.

El SMG está diseñado para operar en diferentes rangos de frecuencia, desde 800 hasta 3500 MHz, y utiliza técnicas de espectro disperso junto con varios algoritmos que aseguran un comportamiento confiable del enlace de radio en áreas complejas, así como largo alcance en áreas abiertas.

La implementación única de la tecnología de espectro disperso, *Frequency Hopping-CDMA*, utilizada en el SMG combina lo mejor de los protocolos TDMA y CDMA. Utilizando estas tecnologías, el SMG ha sido capaz de evitar las secciones ruidosas ocupadas del espectro y utilizar de forma óptima las frecuencias disponibles bajo condiciones de espectro disperso, esto quiere decir que de un ancho de banda dado, se pueden seleccionar frecuencias no continuas para generar un grupo de frecuencias de operación.

El SMG puede integrarse fácilmente a las redes de teléfono públicas conmutadas utilizando centrales digitales, y es completamente transparente a los servicios de la central local.

3.2. Descripción del Sistema Multi-Ganancia

El SMG utiliza la transmisión de radio para lograr que un gran número de usuarios se comuniquen utilizando recursos limitados (ancho de banda). Su comportamiento, tal como lo perciben los abonados que utilizan el servicio del sistema, está determinado por la cobertura de radio y por la posibilidad de completar exitosamente la llamada (grado de servicio).

3.2.1. Cobertura de radio

Al hablar de cobertura de radio se hace referencia a la delimitación de la señal de cada radio

base de acuerdo a la demanda existente.

Las aplicaciones más comunes de los sistemas WLL pueden clasificarse en dos categorías principales:

- *De rango limitado*: esta categoría se encuentra típicamente en áreas rurales, donde un número pequeño de abonados se encuentra disperso en un área grande. Generalmente esos abonados generan cargas de tráfico relativamente bajas. Para reducir el costo de servicio, una radio base, deberá ser capaz de asegurar servicio a abonados ubicados remotamente. Los sistemas diseñados para cumplir estos requerimientos pueden soportar típicamente abonados a distancias de hasta 32 km de la radio base.
- *Capacidad limitada*: esta categoría se encuentra típicamente en áreas urbanas, donde un gran número de abonados se concentra dentro de un área geográfica relativamente pequeña. La carga de tráfico de los abonados, especialmente dentro de las áreas de negocios, es bastante elevada y con frecuencia el tráfico incluye conexiones de datos. Para reducir el costo de servicio, una radio base deberá ser capaz de garantizar servicio a tantos abonados como sea posible, sin embargo, la distancia es pequeña (las distancias típicas van de 2 a 5 km).

Ya que las características técnicas del equipo (energía de transmisión, nivel mínimo de señal recibida, ganancia de antenas, etc.) son fijas, la distancia máxima del enlace entre la radio base y el usuario está determinado por dos factores: la intensidad mínima de la señal recibida permitida (RSS, por sus siglas en inglés), y el nivel máximo permitido de señales de interferencia, definido como la razón portadora / interferencia (C/I, por sus siglas en inglés).

Intensidad mínima de la señal recibida

Cualquier receptor de radio requiere un nivel mínimo de señal para operar normalmente. El valor RSS depende de la energía del transmisor de RF, las ganancias de antenas del transmisor y el receptor, así como de las pérdidas en la trayectoria, todo esto de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$RSS = Pt + Gt + Gr - Lp \quad (3.1)$$

Donde:

Pt: Energía del transmisor (dB).

Gt: Ganancia de la antena del transmisor (dB).

Gr: Ganancia de la antena del receptor (dB).

Lp: Pérdida total en la trayectoria (dB).

Para cualquier enlace de radio dado, el sistema deberá diseñarse para asegurar que la intensidad de la señal recibida exceda un valor mínimo específico (el valor exacto depende de la banda de frecuencia). Debido a las variaciones estadísticas bajo las condiciones reales de propagación, la ecuación presentada arriba da como resultado el RSS promedio.

Como las características del equipo son fijas, la única variable que determina el RSS es la pérdida en la trayectoria, es decir, la atenuación de las señales de radio entre el transmisor y el receptor.

Relación C/I

En situaciones reales, la frecuencia de operación no está nunca fija (como se verá más adelante), algunas señales de radio y ruidos generados por los equipos electrónicos, están siempre presentes creando interferencias a la recepción de la señal deseada.

Los métodos de modulación utilizados por el SMG pueden tolerar tal interferencia, pero solamente hasta un cierto nivel; por tanto, la suma de las señales de interferencia que llegan a un receptor dado no deben exceder un cierto nivel, en relación con el nivel de señales útiles recibidas. En la práctica, la razón portadora/interferencia mínima aceptable es de 15 dB, siendo el valor recomendado de 25 dB.

Dos tipos principales de fuentes de interferencia resultan de particular interés en el SMG:

- Fuentes de banda estrecha de gran potencia, generadas por otros equipos de radio que operan en la misma banda de frecuencia en que opera el SMG. Los métodos de asignación de frecuencia utilizados pueden evitar fácilmente esas fuentes simplemente excluyendo tales frecuencias de las disponibles para el SMG.

- Fuentes relativamente débiles, generadas por sistemas de radio remotos que operan en la misma banda. Una de las fuentes de este tipo de interferencia son radio bases del SMG cercanos que brindan servicio a otras áreas. Tales fuentes pueden tomarse en consideración durante la planeación del sistema.

3.2.2. Grado de servicio

El grado de servicio (GoS, por sus siglas en inglés), es la probabilidad de llamadas bloqueadas. Este valor es proporcionado por el operador, y establece un porcentaje del cual se estime una probabilidad en que el sistema se encuentre ocupado y un usuario no pueda realizar un enlace, dicho valor es establecido en el 1%, esto quiere decir, que de cada 100 personas que intentan realizar una llamada sólo una será bloqueada por el sistema.

En el SMG, la probabilidad de completar exitosamente una llamada depende de la disponibilidad simultánea de los siguientes factores:

- Un canal de tiempo libre en un enlace de transmisión, desde la central telefónica hacia la unidad de procesamiento del sistema inalámbrico. Este factor está controlado por el número de enlaces E1s que proporciona la central.
- Un canal de tiempo en el enlace aéreo entre las antenas transmisoras y receptoras. Este factor está controlado por el número de antenas disponibles en cada radio base.

Capacidad para cumplir con el grado de servicio

Como los recursos del sistema son limitados, la probabilidad de encontrar recursos libres depende de la carga de tráfico, mientras mayor sea la carga, mayor será la parte de los recursos del sistema que estén ocupados en un instante dado, y así, ocasionalmente, se bloquearán las llamadas debido a la falta de recursos. Esta situación es similar a la encontrada durante el planeamiento de la capacidad de los sistemas y centrales telefónicas que son diseñados para asegurar un determinado grado de servicio para una carga de tráfico dada.

Para el SMG, la planeación está siempre dirigida a la utilización óptima del ancho de banda, lo que significa que el recurso que limita la capacidad del sistema es el número de ranuras de

tiempo de las antenas de la radio base.

3.3. Arquitectura del sistema

El SMG posee una arquitectura punto-multipunto, lo que significa que se utiliza un único punto de radiación hacia las unidades fijas que se encuentran distribuidas por toda el área de cobertura. Además, cuenta con una estructura modular, haciendo sencilla la expansión del sistema a medida que aumenta la demanda de servicio.

La figura 3.1 muestra la arquitectura básica del SMG e identifica los principales componentes del sistema.

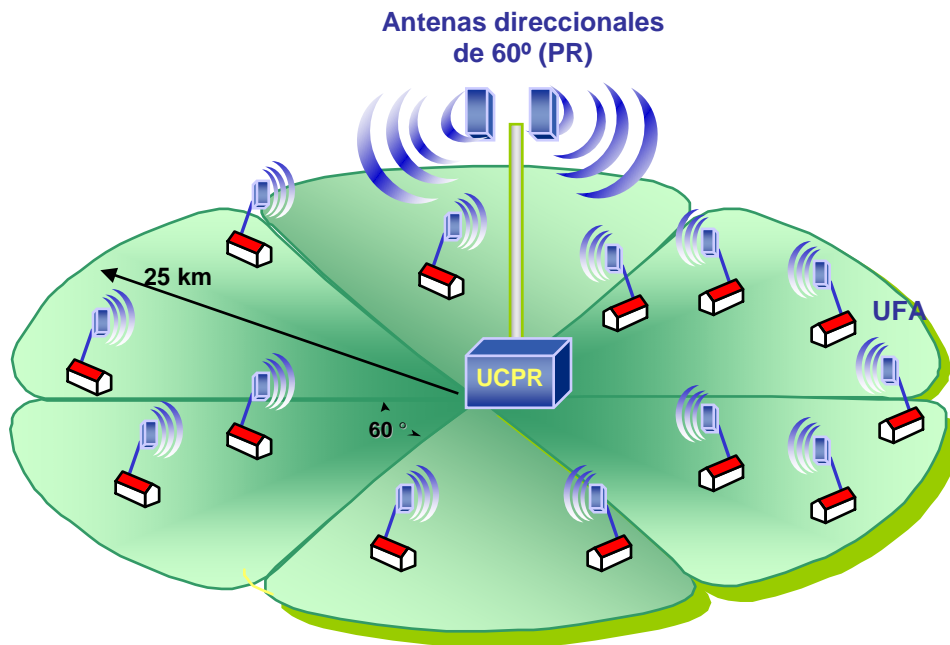


Figura 3.1. Arquitectura básica del SMG.

El SMG incluye los siguientes componentes principales:

- Unidad de Control de Puerto de Radio (UCPR).
- Unidad de acoplamiento de Puerto de Radio (PR).
- Unidad Fija de Abonado (UFA).
- Sistema de Sincronía Global (SSG).

3.3.1. Unidad de Control de Puerto de Radio

La UCPR sirve como controlador principal del SMG y asegura la interfaz entre éste y la red de operadores del sistema (o sea, la interfaz con la central local). La UCPR maneja el tráfico del sistema e incluye todas las funciones necesarias para operar los enlaces de radio de las terminales de abonados.

Cada UCPR sirve como base para un SMG que opera de manera independiente. Un UCPR completamente equipado puede soportar hasta 500 abonados. En la figura 3.2 se observa un equipo UCPR equipado con tarjetas controladoras.



Figura 3.2. Fotografía de un UCPR.

Cuando un gran número de abonados está ubicado dentro del área de servicio, pueden instalarse varias UCPRs en la misma ubicación y operarlas como un grupo, ahorrando así recursos al sistema, minimizando los requerimientos de inmuebles, y simplificando las operaciones de control y mantenimiento. El operador del sistema tiene la flexibilidad de conectar todas las UCPRs a la misma central local o a diferentes centrales.

Funciones de la UCPR

La UCPR lleva a cabo las siguientes funciones:

- Sirve de interfaz entre el SMG y la central local. En estos casos la conexión con la central se realiza por medio de enlaces E1.
- Sirve de interfaz entre el SMG y los abonados, a través de los Puertos de Radio y suministra el voltaje de alimentación a estos.
- Distribución de sincronía en el SMG. La UCPR sirve de interfaz al sistema de sincronización global, suministra y distribuye las señales del reloj de referencia y determina el tiempo de salto maestro para todos los equipos incluidos en el sistema. Lo anterior es para lograr una perfecta sincronía entre todas las radio bases que operen con la misma tabla de frecuencias y así evitar interferencias.

3.3.2. Puerto de Radio

El Puerto de Radio es un subsistema que contiene el hardware del PR y una antena interna direccional de 60°, figura 3.3. Las antenas direccionales se denominan también antenas sectorizadas, porque intentan cubrir solamente un sector, en este caso se cubren 60°.

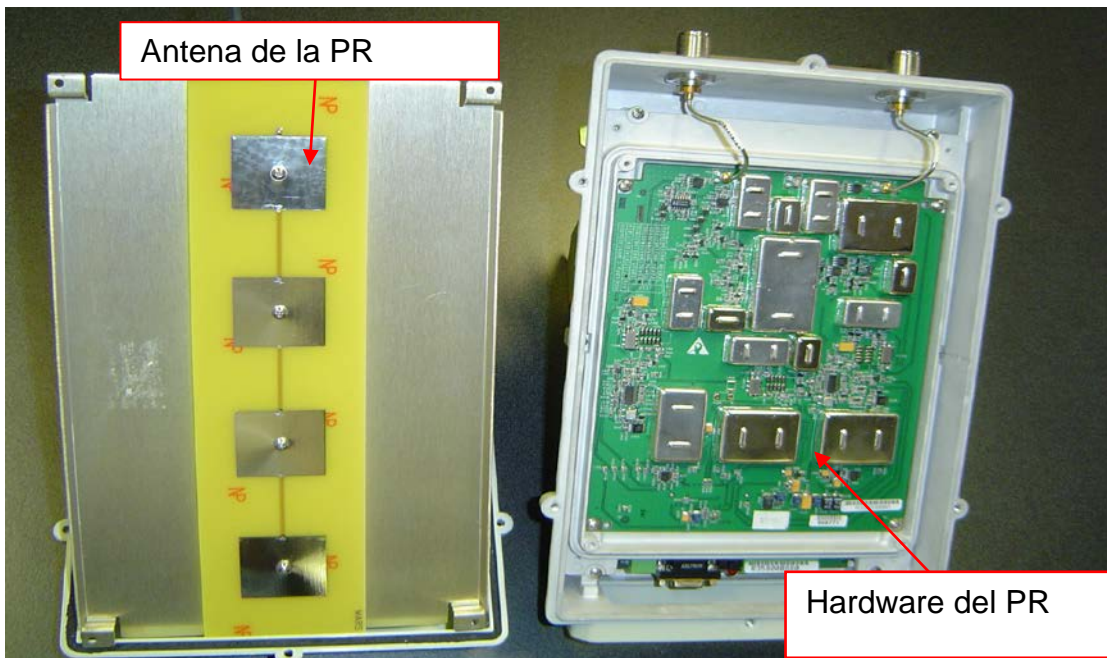


Figura 3.3. Antena PR.

CAPÍTULO III. SISTEMA MULTI-GANANCIA

Los puertos de radio aseguran los enlaces de radio con las terminales de los abonados, localizados en el área de servicio, de manera que todo abonado está al alcance de por lo menos un puerto de radio.

Hasta 8 puertos de radio pueden conectarse a un UCPR, donde cada puerto de radio puede llevar hasta 16 llamadas de voz simultáneamente. El número de puertos de radio requerido en un sistema dado, dependerá de la carga de tráfico y de las características geográficas y topográficas del área de servicio.

Al interconectar dos unidades PR que apuntan en la misma dirección con dos cables coaxiales se obtiene diversidad espacial, para cada PR, porque cada PR también puede usar la antena interna del otro PR.

Un soporte en forma de H permite montar hasta 4 unidades, colocadas una en cada esquina. Para ilustrar las opciones de instalación, la figura 3.4 muestra una vista general de cuatro PRs instalados sobre un soporte H.

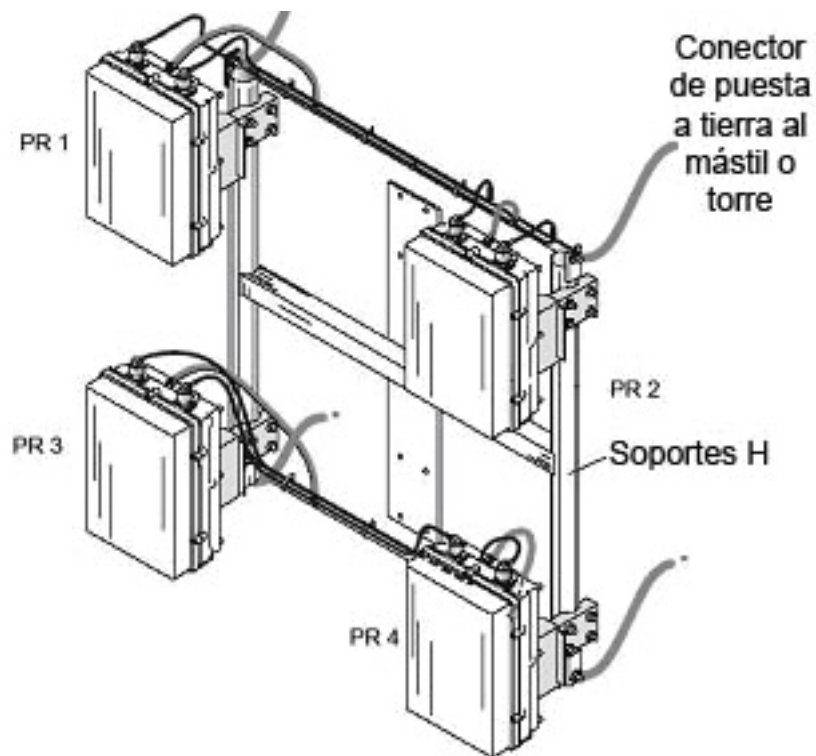


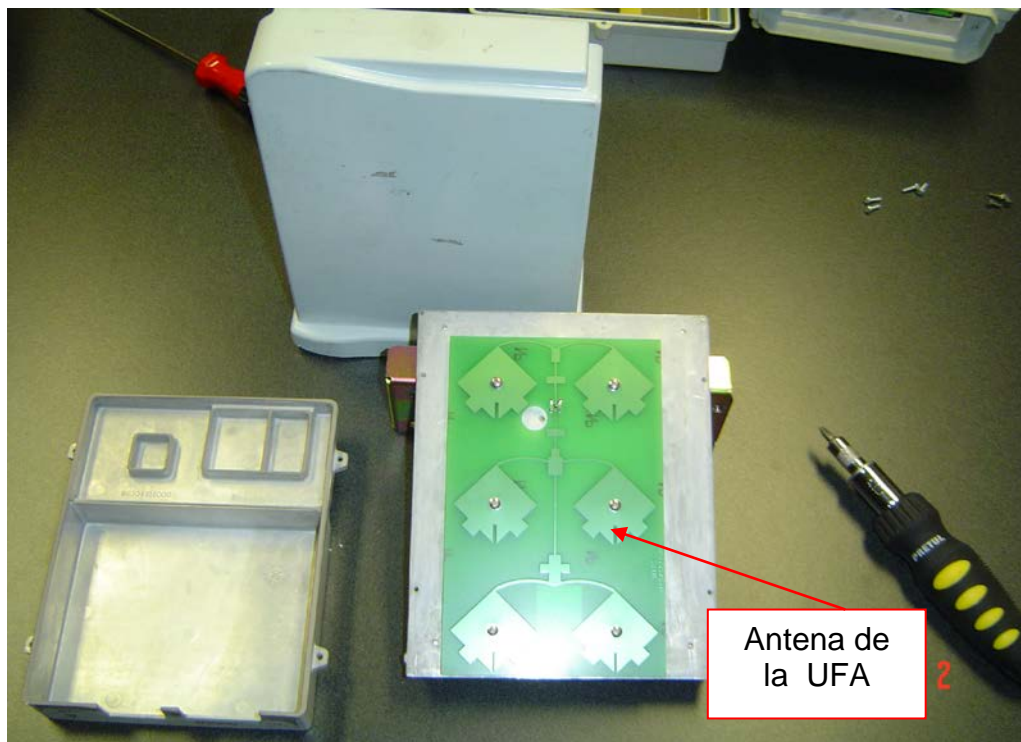
Figura 3.4. Arreglo de instalación de PRs.

3.3.3. Unidades Fijas de Abonado

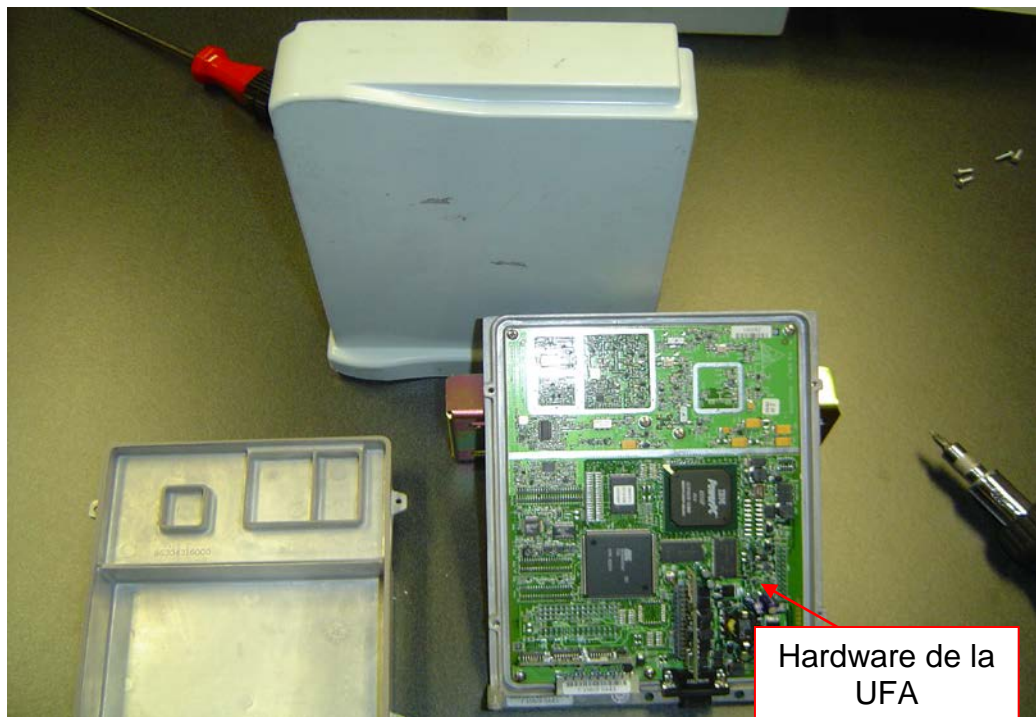
La Unidad Fija de Abonado (UFA) asegura el enlace de Radio Frecuencia (RF) entre los equipos terminales del abonado (teléfono, módems de datos, etc.) y el PR. Los trayectos de transmisión y recepción comparten la antena interna mediante un conmutador de transmisión/recepción.

La UFA sirve como unidad de acceso del abonado al SMG y se ubica en las proximidades del abonado. La UFA está generalmente disponible con una o dos interfaces independientes que pueden conectarse directamente al aparato telefónico. Existe también una versión de UFA para combinar voz y datos.

Así como el PR, la UFA cuenta también con 2 partes dentro de su sistema, una parte de antena y otra de hardware como se ilustra en las Figuras 3.4 (a) y (b).



(a)



(b)

Figura 3.5. (a) Antena de la UFA, (b) Hardware de la UFA.

Para el funcionamiento de la UFA se requiere de un suministro de alimentación, la UFA es alimentada desde un tomacorriente de corriente alterna a través de una Unidad de Control de Potencia (UCP). La conexión UCP a UFA es a través de cables estándar de par trenzado. La UCP también contiene una batería de reserva, que puede proporcionar hasta cinco horas de operación de reserva en caso de falta de energía eléctrica, y se conecta por medio de un transformador al suministro de energía eléctrica, ver figura 3.6.

La UCP es alojada en un pequeño estante, apropiado para instalación en interiores. La unidad UCP normalmente se instala en paredes, aunque también se puede instalar en escritorios y en estantes.

La UCP suministra la interfaz al equipo del usuario (teléfono, fax, módem, PC).

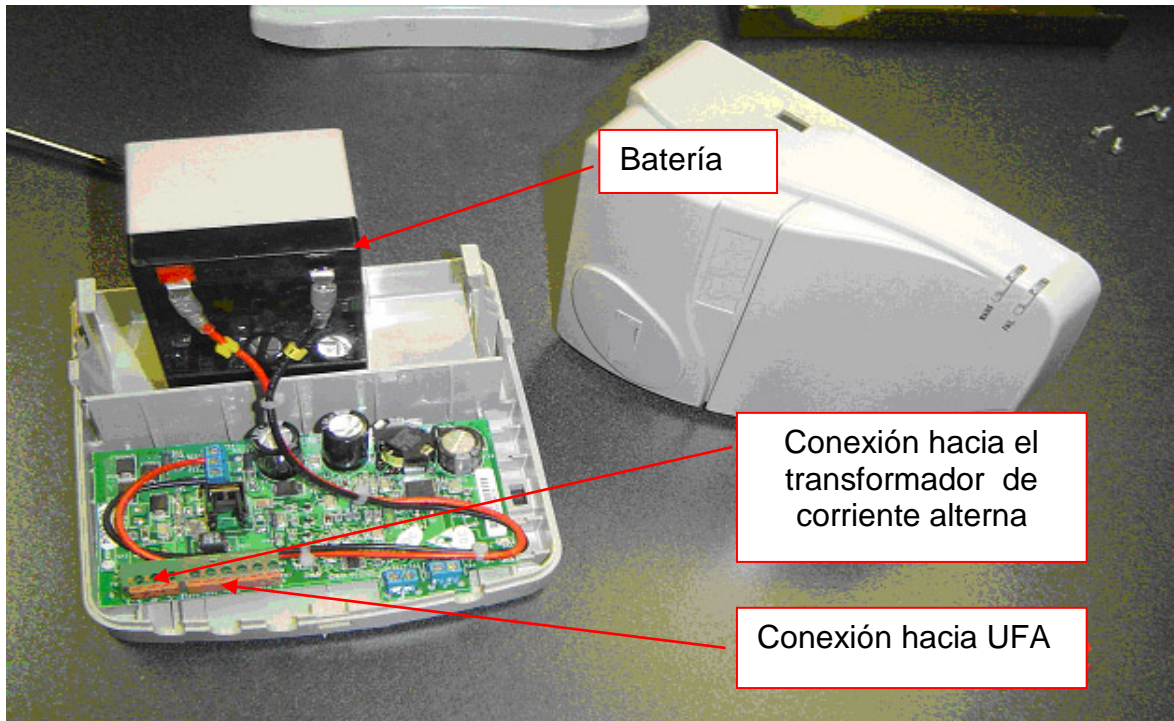


Figura 3.6. Unidad de Control de Potencia.

3.3.4. Sistema de Sincronía Global

La tecnología CDMA de salto de frecuencia, utilizada en el SMG, requiere una sincronización de temporización precisa entre los puertos de radio ubicados juntos y entre puertos de radio vecinos, lo anterior es para impedir la interferencia y asegurar que los abonados puedan establecer un enlace de radio a través de algún puerto de radio vecino. La sincronización se logra cuando los intervalos de salto de frecuencia de todos los puertos de radio en el sistema se encuentran en sincronía, ésta es una función llevada a cabo por la UCPR. Cuando varios UCPRs actúan en ubicaciones cercanas, los intervalos de salto de frecuencia de estos UCPRs deben ser sincronizados proporcionando una referencia de temporización externa.

El SSG proporciona señales exactas de frecuencia y temporización, utilizadas para la sincronización de la radio base y puede ser incorporado al SMG. El SSG comprende dos subsistemas principales: Sistema de Posicionamiento Global (SPG) y Unidad de Temporización Global (UTG).

- Receptor SPG. El receptor proporciona una señal de reloj muy exacta, conjuntamente con información precisa sobre las horas del día, derivada de una sola fuente, en cualquier lugar en la tierra.

Cada receptor SPG es suministrado con su propia antena. La antena incluye varios circuitos, alimentados por el receptor SPG a través del cable de interconexión RF, que permite ubicar la antena a una determinada distancia sin pérdida de la sensibilidad de recepción.

- La UTG es una unidad propia del SMG para fines especiales, incluye las interfaces requeridas para distribuir la señales exactas de reloj y sincronización proporcionadas por el receptor SPG para un máximo de 8 UCPRs ubicados en el mismo sitio.

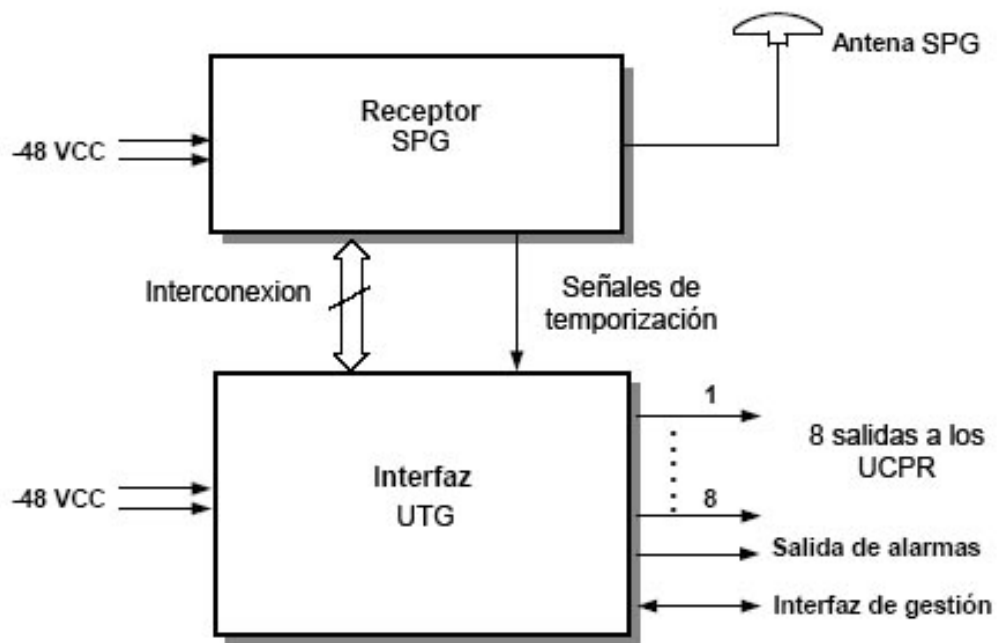


Figura 3.7. Diagrama de bloques del SSG.

El receptor SPG y la UTG suelen ubicarse en el mismo bastidor del equipo. Para asegurar que la calidad de la señal no se degrade, estas unidades deben de ser instaladas cerca de la UCPR (a unos pocos metros). La antena SPG se ubica en la intemperie y se debe seleccionar la

posición para que tenga una línea de visión libre con los satélites (por ejemplo, sobre un poste o el techo).

3.4. Interfaz y tecnologías de los equipos del SMG

El término interfaz aérea es utilizado para la aplicación de las técnicas que se implementan en el equipo de transmisión y recepción de radio del SMG, para establecer la comunicación y transferir la información del usuario. Las características de la interfaz aérea del SMG han sido utilizadas para alcanzar los siguientes propósitos:

- Lograr el uso óptimo del ancho de banda.
- Lograr que la comunicación sea confiable aun en presencia de interferencia.
- Asegurar privacidad a los abonados que utilizan este sistema.

La interfaz aérea del SMG se basa en tres técnicas principales: la primera, *Frequency Hopping-CDMA*, corresponde salto de frecuencia en espectro disperso y acceso múltiple por división de código; la segunda técnica es dominio del tiempo *duplex* (TDD, por sus siglas en inglés), lo que significa que se envía y se recibe información en un instante dado; por último, las técnicas de TDM/TDMA, fundamentadas en el multiplexaje por división de tiempo y acceso múltiple por división de tiempo.

3.4.1. Implementación del salto de frecuencia en el SMG

Cuando se utiliza la variante del salto de frecuencia, en vez de la asignación de una frecuencia específica a cada par de aparatos de radio, un número relativamente grande de frecuencias (denominado tabla de saltos) se asigna a todos los aparatos de radio dentro de un área dada. Cada aparato de radio que transmite cambia rápidamente su frecuencia de transmisión muchas veces por segundo (saltos), de frecuencia a frecuencia en un orden predeterminado (llamado secuencia de salto), y el radio que recibe establece los saltos de manera síncrona con el transmisor; como resultado, el receptor permanece sintonizado con el transmisor y puede recibir la información transmitida. Las características del transmisor y del receptor se seleccionan cuidadosamente, de manera que el tiempo residente (tiempo de ocupación de la

información en una frecuencia), es mucho más largo que el tiempo necesario para cambiar la frecuencia de operación instantánea.

El salto de frecuencia reduce la interferencia causada por las transmisiones del SMG a otros usuarios que operan en el mismo rango, ello aumenta también la inmunidad de las transmisiones SMG al ruido externo y a las fuentes de interferencia. Además las características del salto de frecuencia hacen difícil interceptar las transmisiones de radio y junto con otras características técnicas del SMG (que consisten en la autenticación de cada UFA mediante su número de serie), contribuyen a alcanzar la privacidad de la comunicación, verificación del abonado y evitar el fraude y el acceso no autorizado a los servicios del sistema.

El salto de frecuencia es un método particular dentro de las técnicas de espectro extendido seleccionado para ser utilizado en el SMG; con esta técnica es posible alcanzar una buena eficiencia en la utilización del espectro, porque en cada intervalo de salto, un transmisor dado, utiliza solamente una frecuencia de las incluidas en la tabla de saltos. Como resultado, las otras frecuencias en el rango asignado pueden ser utilizadas por otros transmisores.

Por lo anterior, mediante la selección cuidadosa de las secuencias de salto de los aparatos de radio que operan en un área, se asegura que dos de ellos no transmitan en la misma frecuencia en el mismo instante; muchos aparatos de radio adicionales pueden compartir el mismo rango de frecuencias. En la práctica, el número máximo de PRs puede ser igual al número de frecuencias en la tabla de saltos.

Cabe mencionar que el espaciamiento del canal RF es de 1 MHz. El número máximo de frecuencias que pueden incluirse en la tabla de saltos es igual al número total de frecuencias en una banda asignada. El ancho de banda RF ocupado es tal que, dos unidades PRs localizadas en el mismo sector sólo pueden utilizar frecuencias que difieren en 2 MHz, esto con la finalidad de evitar la interferencia en las frecuencias adyacentes.

La velocidad de salto en el SMG es de 500 saltos por segundo (cada salto tiene duración de 2 milisegundos, éste está predeterminado en el diseño del equipo). El proceso de salto es controlado por la UCPR, todas las unidades PR controladas por la misma UCPR saltan con una misma sincronía, utilizando el mismo patrón de salto de frecuencia y en el mismo orden (el

patrón de saltos es definido durante la configuración de la UCPR). Sin embargo, a cada PR se le asigna un punto de partida diferente en la secuencia de saltos, dándole diferentes números de secuencia a los PRs cercanos, para asegurar que nunca van a trabajar en la misma frecuencia y al mismo tiempo que cualquier vecino (esta característica se denomina ortogonalidad).

Además, los grupos de salto (o sea, las frecuencias específicas actualmente en uso) deben seleccionarse durante la planeación del sistema de acuerdo al ancho de banda disponible. Esta planeación permite al usuario excluir las bandas de frecuencia ocupadas, o frecuencias ruidosas y asegura que el SMG pueda utilizar eficientemente las frecuencias disponibles en cualquier ubicación, aún cuando el espectro disponible no sea continuo.

En la figura 3.8 se representa la tabla de saltos, cada anillo representa la tabla. Las frecuencias están organizadas pseudoaleatoriamente, comenzando por la frecuencia mas baja. El anillo está dividido en celdas que representan una frecuencia en particular (llamada fase); al girar el anillo en el sentido de las agujas del reloj se genera el salto a la siguiente fase, de acuerdo a la tabla de saltos. Como se explicó, la misma tabla de saltos se aplica a todos los equipos (PR y UFA) conectados a un UCPR dado.

Cada anillo representa el orden de salto de un PR individual. El proceso puede visualizarse como que tiene todos los anillos rotando simultáneamente en el mismo sentido en relación con el punto de referencia, que es, para nuestro ejemplo la fase 17 del primer anillo. Como se ve, la frecuencia observada en cada anillo es diferente en el mismo instante.

Por ejemplo, para la secuencia pseudoaleatoria ilustrada en la figura 3.8, cuando la unidad de referencia PR1 utiliza la frecuencia 17, la unidad PR2 utiliza la frecuencia 51 (esta utilizará la frecuencia 17 en el próximo salto).

Utilizando el modelo anterior se comprenden los principios de asignación de frecuencias básicas utilizados en el Sistema Multi-Ganancia.

En general, cuando varias radio bases del SMG están ubicadas en la misma área, las frecuencias disponibles deberán asignarse de manera que entre dos radio bases no exista interferencia.

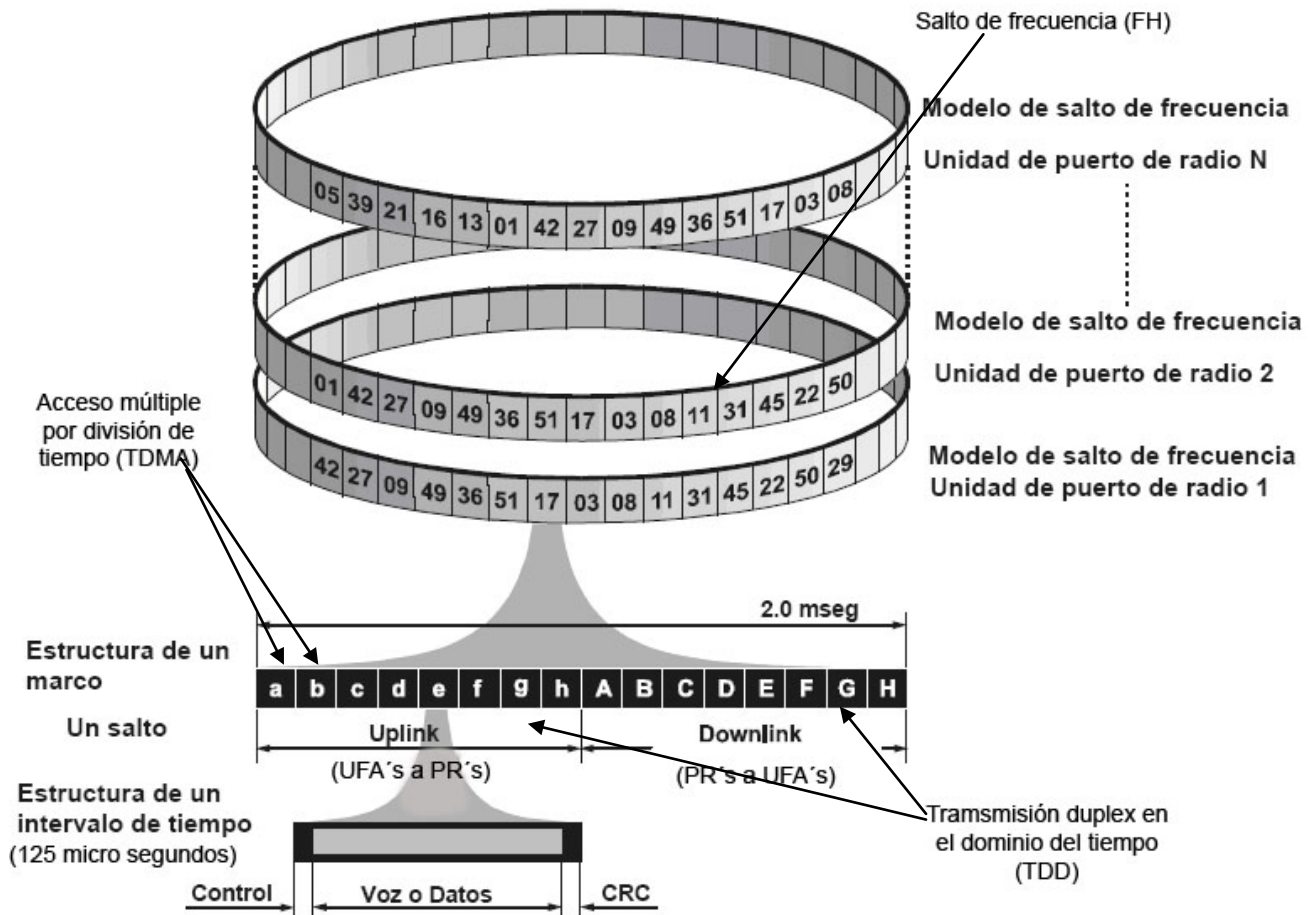


Figura 3.8. Salto de frecuencias en el SMG.

Transmisión *duplex* en el dominio del tiempo en el SMG

La figura 3.8 presenta también la utilización de los intervalos de transmisión en el SMG. La duración nominal de un salto es de 2 mseg.

El SMG utiliza la transmisión *duplex* en el dominio de tiempo (TDD). La transmisión y recepción se alcanza dividiendo la duración del salto en dos intervalos iguales teniendo una duración nominal de 1 mseg para cada uno.

El primer intervalo de 1 mseg de cada salto se utiliza para el enlace ascendente (transmisión desde las UFAs hacia los PRs). El segundo intervalo de 1 mseg se utiliza para el enlace descendente (transmisión desde los PRs hacia las UFAs). Durante este intervalo, cada unidad UFA que recibe cualquier PR se sincroniza con las ranuras de tiempo aéreas, quedando así sincronizada con el sistema. Como los saltos de cada PR se realizan en sincronía, una UFA sincronizada puede alinearse ella misma con cualquier PR conectada al sistema.

El enfoque TDD permite que el SMG opere con una frecuencia para ambas direcciones de transmisión. Esto mejora la eficiencia de utilización del espectro y reduce también el efecto de las condiciones adversas de propagación sobre la transmisión de radio.

Tecnología TDMA en el SMG

Cada uno de los intervalos de 1 mseg de un salto se divide en ocho ranuras de tiempo (asignadas desde la a hasta la h y desde la A hasta la H , ver la figura 3.8) para obtener ocho canales duplex TDMA por cada una de los PRs. De éste modo cada PR, en el primer intervalo de 1 mseg, recibe la información de 8 usuarios, y en el siguiente milisegundo, transmite la información a esos mismos usuarios.

Debido a que TDMA está basada en la tecnología TDM, cada intervalo de tiempo de las PRs se compone de 8 bits de información, con una velocidad de transmisión por intervalo de 64 kbps.

Cada usuario tiene un intervalo de tiempo de 125 microsegundos, en este tiempo cada usuario transmite información de información o datos, bits de control y bits de errores (CRC, por sus siglas en inglés), figura 3.8. La recepción de información de voz o datos se lleva a cabo en el siguiente intervalo de 125 microsegundos.

Una de las facilidades que presenta el SMG para la transmisión de la información, es la compresión de los intervalos de tiempo de las PRs a través de la modulación ADPCM. Esta técnica de modulación toma las muestras codificadas de 8 bits de cada uno de los usuarios comprimiéndolos a tan solo 4 bits, esto permite que por cada intervalo de tiempo de 64 kbps se divida en dos de 32 kbps, de tal forma que en lugar de transmitir a 8 usuarios por cada PR, se transmite a 16 usuarios.

El SMG puede combinar la transmisión de 64 kbps con 32 kbps, esto depende de los requerimientos del usuario, si sólo desea transmisión de voz, a su servicio sólo se le asigna velocidad de 32 kbps, si se desea conexión vía MODEM, la velocidad será 64 kbps.

Finalmente bajo estos conceptos quedan definidos cualitativamente los parámetros que el operador suministra para brindar un servicio eficiente y con calidad; dejando en claro como éstos se satisfacen mediante los enlaces digitales controladas por PRs, UFAs y UCPRs, que conforman la arquitectura del sistema.

Las tecnologías de transmisión digital de las que se hizo referencia en este capítulo forman parte fundamental en el funcionamiento del SMG.

Hasta ahora se han definido de manera independiente los elementos que conforman el SMG. En el siguiente capítulo se llevará a cabo la integración de los mismos, a fin de implementar el SMG en las áreas que el operador requiere dar cobertura.

CAPÍTULO IV

PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

En este capítulo se explicará la planeación del SMG, de acuerdo a las necesidades particulares de la ciudad de Monterrey, además de llevar a cabo las instalaciones pertinentes tanto de las radio bases como de los usuarios finales. Finalmente se realizarán pruebas de operación del sistema.

4.1. Planeación del sistema

La planeación del SMG consiste de los pasos que se enumeran a continuación, según el orden en que se llevan a cabo:

1. Recabar la información de demanda de comunicaciones y los sitios en los que podrían instalarse las radio bases.
2. Realizar simulaciones de cobertura para cada sitio de forma independiente, con la finalidad de seleccionar los sitios que mejor satisfacen la demanda.
3. Hacer un estudio de campo para cada uno de los sitios que se determinaron como posibles radio bases, después de la simulación y de seleccionar los óptimos.

4. Hacer estudios de radio interferencia dentro del ancho de banda que podría usar el SMG.
5. Determinar los componentes del sistema.

4.1.1. Recopilación de la información

Antes de realizar los estudios de campo se debe recopilar la información que el operador de servicio telefónico proporciona, la cual consiste en:

- Ubicación de las colonias en las que el operador tiene demanda de servicio telefónico, así como la cantidad de líneas requeridas en cada una de ellas, tabla 4.1.

	colonias	Longitud	Latitud	Demanda de líneas
1	Real de Cumbres	-100° 23' 35.16"	25° 43' 18.70"	500
2	Fracc. Monte Cristal	-100° 08' 09.90"	25° 36' 41.22"	200
3	El Cerrito	-100° 11' 36.40"	25° 30' 38.02"	70
4	El Barrial	-100° 11' 19.88"	25° 28' 32.54"	233
5	Las Jaras	-100° 12' 24.72"	25° 32' 20.17"	75
6	El Batro	-100° 12' 32.25"	25° 30' 58.21"	95
7	Jardines de la Silla	-100° 10' 58.34"	25° 37' 55.20"	100
8	Coahuila	-100° 08' 25.63"	25° 40' 0.55"	100
9	Arboledas de San Roque	-100° 09' 30.39"	25° 35' 55.02"	50
10	General Escobedo	-100° 18' 43.92"	25° 47' 21.67"	440
11	Nueva Castilla	-100° 16' 17.81"	25° 48' 56.85"	60
12	Benito Juárez	-100° 05' 52.50"	25° 38' 43.06"	300
13	Xochimilco	-100° 10' 03.73"	25° 39' 15.63"	200
14	Los Rodríguez	-100° 09' 32.80"	25° 28' 9.75"	112

Tabla 4.1. Colonias y su demanda.

En la tabla 4.1 se observa que la demanda de servicio telefónico comprendía 14 colonias, la figura 4.1 muestra la ubicación geográfica de cada una de ellas.

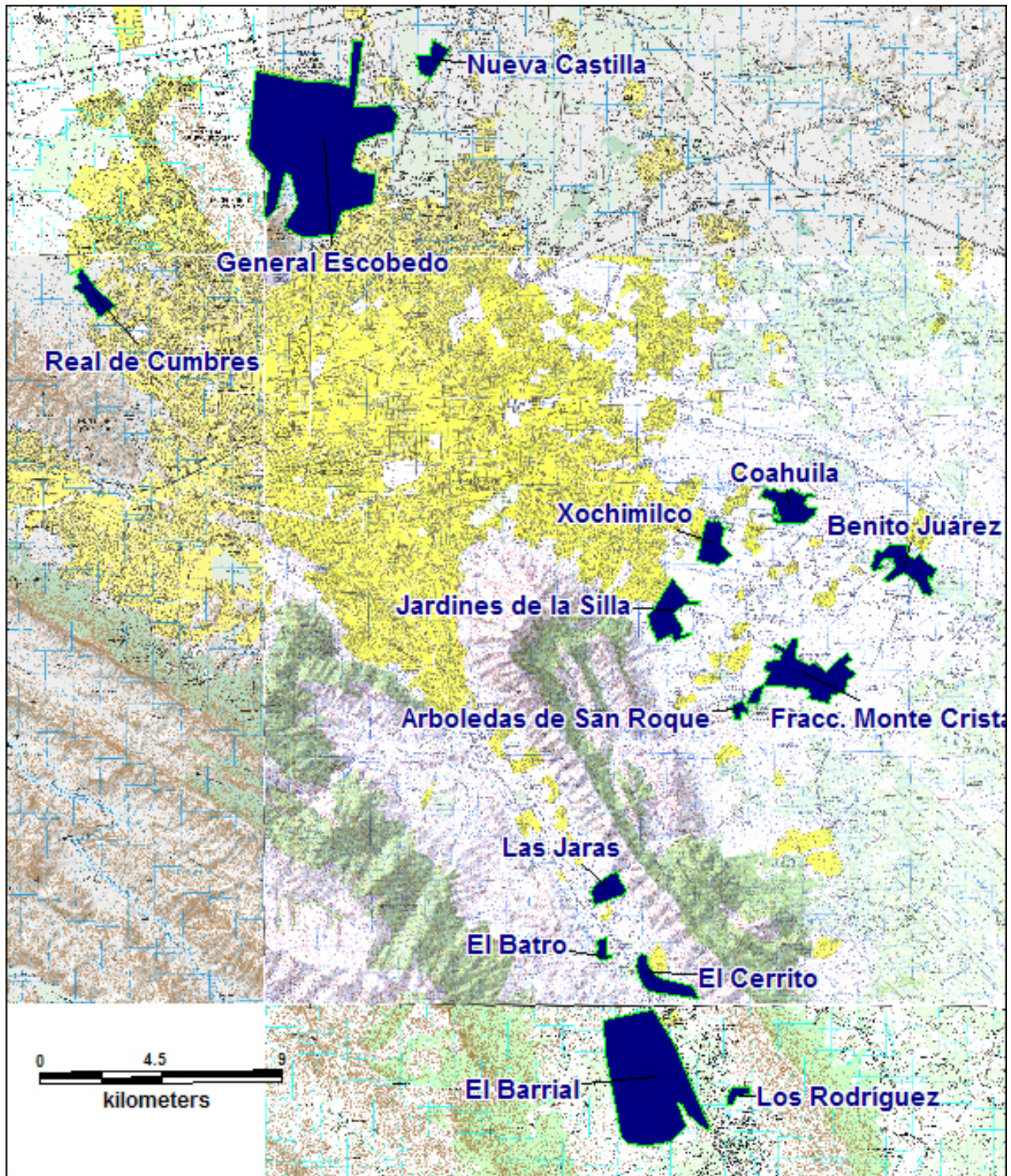


Figura 4.1. Ubicación de las áreas de demanda.

- Ubicación de los sitios disponibles para la instalación de las radio bases, con una breve descripción de la infraestructura existente (espacio para los bastidores dentro de la

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

central, alimentación eléctrica de -48 V , protección eléctrica y sistema de tierras, torre y escalerillas para cables dentro de la sala y en la torre). La tabla 4.2 muestra la información de los sitios.

	Nombre del sitio	Longitud	Latitud	Altura de torre [m]	Infraestructura
1	Apodaca	-100° 11' 13.99"	25° 46' 37.00"	Edificio 17 m Torre 18 m	Edificio 3 pisos, cuenta con espacio, energía, E1s
2	San Rafael	-100° 13' 17.99"	25° 42' 11.00"	Sin torre, Edificio 17 m	Edificio 3 pisos, cuenta con espacio, energía. No hay torre,
3	Santa Fe	-100° 15' 11.99"	25° 41' 47.99"	Edificio 35 m Torre 12 m	Edificio 6 pisos cuenta con espacio, energía, E1s.
4	La Silla	-100° 11' 40.99"	25° 39' 36.00"	30 metros	Edificio 1 nivel, cuenta con espacio, energía, E1s.
5	Valle Verde	-100° 22' 43.89"	25° 44' 24.79"	Edificio 15 m Torre 18 m	Edificio 3 pisos, cuenta con espacio, energía, E1s.
6	Los Reyes	-100° 08' 46.70"	25° 38' 42.79"	38 metros	Edificio 1 nivel, cuenta con espacio, energía, E1s.
7	Santa Catarina	-100° 27' 39.70"	25° 40' 20.89"	Edificio 15 m Torre 24 m	Edificio 1 nivel, cuenta con espacio, energía, E1s.
8	San Agustín	-100° 20' 11.50"	25° 39' 15.10"	Sin Torre, Edificio 24 m	Edificio 4 pisos, cuenta con espacio, energía, E1s. No hay torre.
9	Brisas	-100° 16' 55.2"	25° 37' 31.49"	Torre 55 m	Edificio 1 nivel, falta espacio, hay energía y E1s .
10	Anáhuac	-100° 18' 15.99"	25° 44' 09.60"	Edificio 30 m Torre 18 m	Edificio 5 pisos, cuenta con espacio, energía, E1s.
11	General Escobedo	-100° 18' 17.79"	25° 47' 26.99"	Edificio 15 m Torre 24 m	Edificio 3 pisos, cuenta con espacio, energía, E1s.
12	El Barrial	-100° 11' 12.19"	25° 29' 38.30"	Edificio 10 m Torre 24 m	Edificio 2 pisos, cuenta con espacio y energía. Faltan E1s
13	Ciudad Mitras	-100° 27' 28.66"	25° 46' 54.81"	Edificio 10 m Torre 18 m	Edificio 2 pisos, cuenta con espacio, energía, E1s.
14	Cadereita	-100° 01' 9.88"	25° 36' 05.02"	Torre 45 m	Edificio 1 nivel, falta espacio, hay energía y E1s .

Tabla 4.2. Sitios disponibles para la instalación de radio bases.

Los sitios disponibles para la instalación de radio bases, presentados en la tabla 4.2, deben ubicarse en un mapa con la finalidad de analizar cada uno. Dichos sitios se muestran en la figura 4.2.

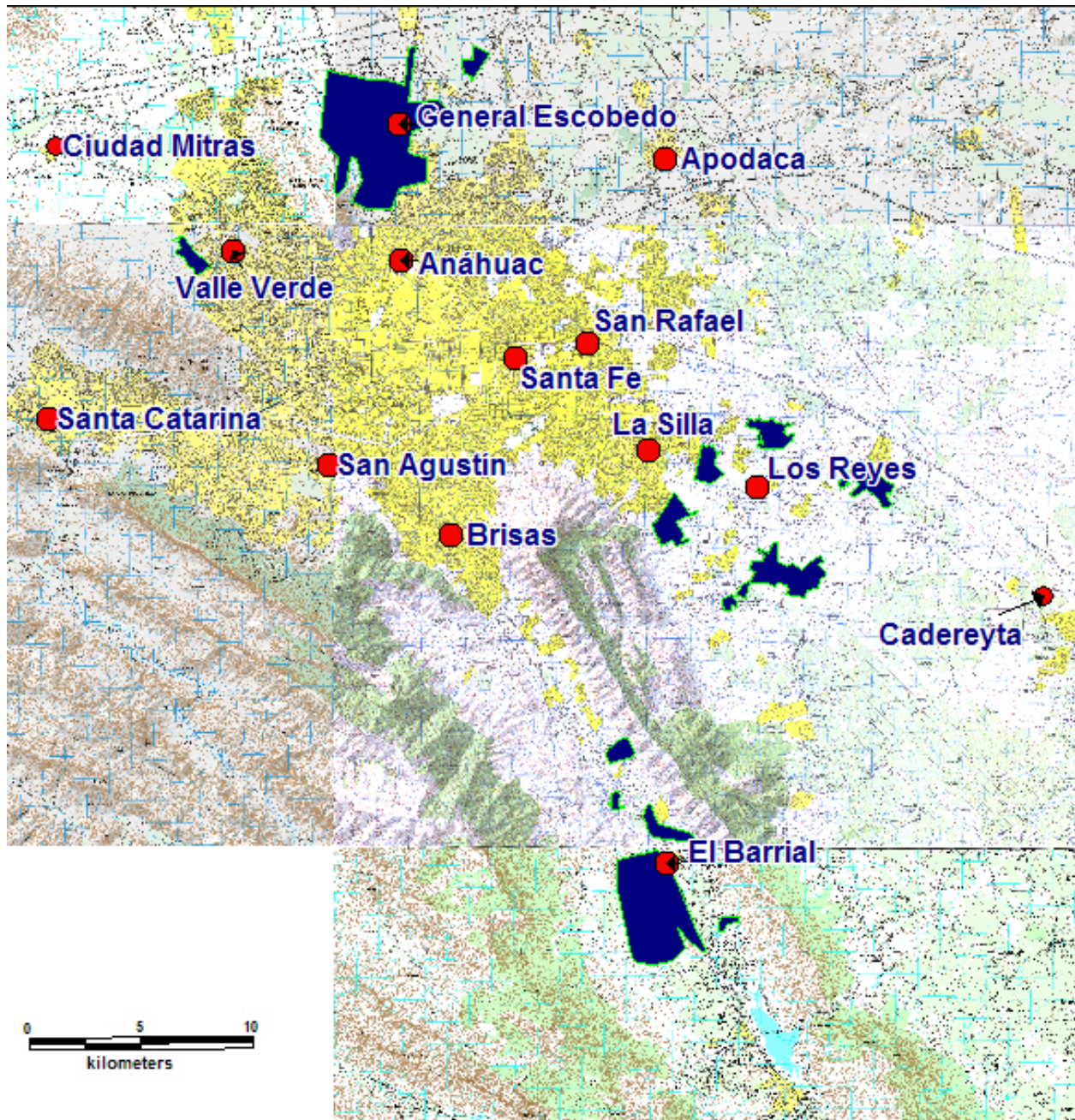


Figura 4.2. Sitios con infraestructura disponible.

4.1.2. Simulación de la cobertura y selección de sitios

Como se mencionó en el principio del capítulo, se hará una simulación de cobertura para cada uno de los sitios con ayuda de un software especializado en el SMG, dicho software requiere se le proporcionen los siguientes datos:

- Potencia de transmisión, altura y patrón de radiación de las antenas.
- Las tecnologías con las que opera el SMG (TDMA, TDD, FH-CDMA, etc.)
- Atenuación de la señal debido al medio de propagación.
- Altura de las antenas de abonado.
- Orografía del terreno.

La simulación consiste en que el software, a partir de la radio base, estima, con base en los parámetros antes mencionados, la potencia promedio que recibiría un supuesto usuario localizado cada cien metros, hasta completar una cobertura radial de 32 km, que es la máxima cobertura que puede ofrecer el sistema.

De forma individual se obtiene un patrón de radiación para cada uno de los sitios y se comparan entre sí con la finalidad de determinar los sitios óptimos en donde se puede instalar el SMG, de acuerdo a la cobertura en las colonias de interés.

El factor que se toma en cuenta para determinar los sitios óptimos es el índice mínimo de señal recibida (RSS, por sus siglas en inglés). Este índice es el valor esperado de la potencia de la señal que un usuario cualquiera podría recibir en el área de demanda.

El RSS se mide en decibeles, está determinado por los intervalos de potencia en los que el sistema puede operar y se calcula mediante el software que simula la propagación de la señal que produce el SMG.

Terminada la simulación el software determina en que intervalo de potencia (bajo, medio o alto) se encuentra cada uno de los valores RSS calculados, y asigna un sombreado diferente a cada uno de ellos. En la figura 4.3 se ha tomado como ejemplo la simulación realizada en el sitio Valle Verde, en el cual se tiene una cobertura clara hacia las colonias de interés en la zona.

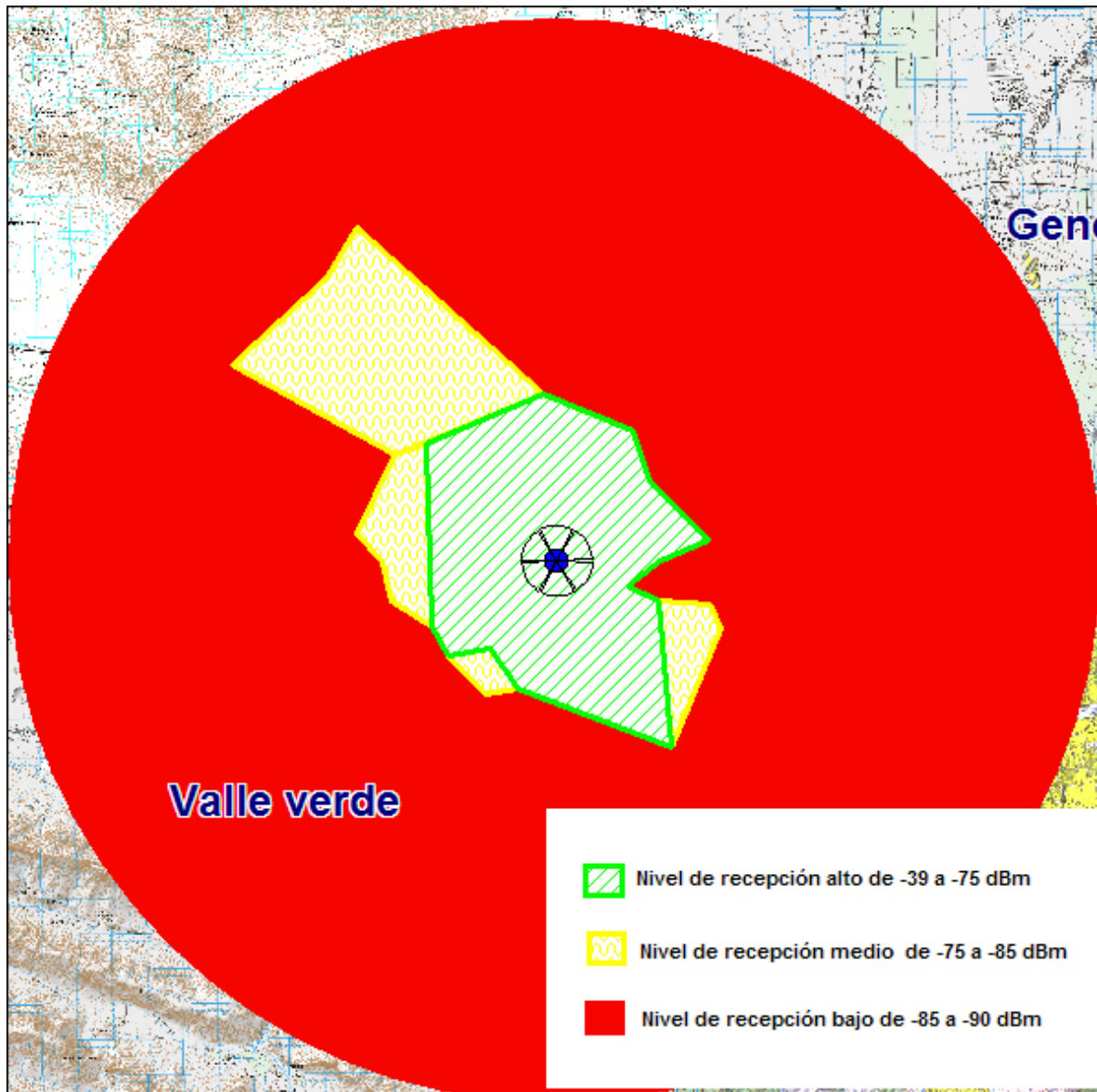


Figura 4.3. Resultado de la simulación en Valle Verde.

Después de hacer la simulación para cada uno de los sitios se concluyó que de los 14 sitios que se analizaron, sólo hay cinco posibles sitios que aseguran cobertura en las áreas de interés (figura 4.4). Dichos sitios son: El Barrial, Los Reyes, Brisas, Valle Verde y General Escobedo. Sin embargo, dado que los resultados antes mencionados se obtienen de una simulación, hay que señalar que existe un grado de incertidumbre, y con la intención de tener una representación real de la cobertura se deben realizar los estudios de campo y de radio interferencia en cada uno de los sitios para corroborar la veracidad de los resultados obtenidos, en caso contrario se deberán determinar sitios alternativos.

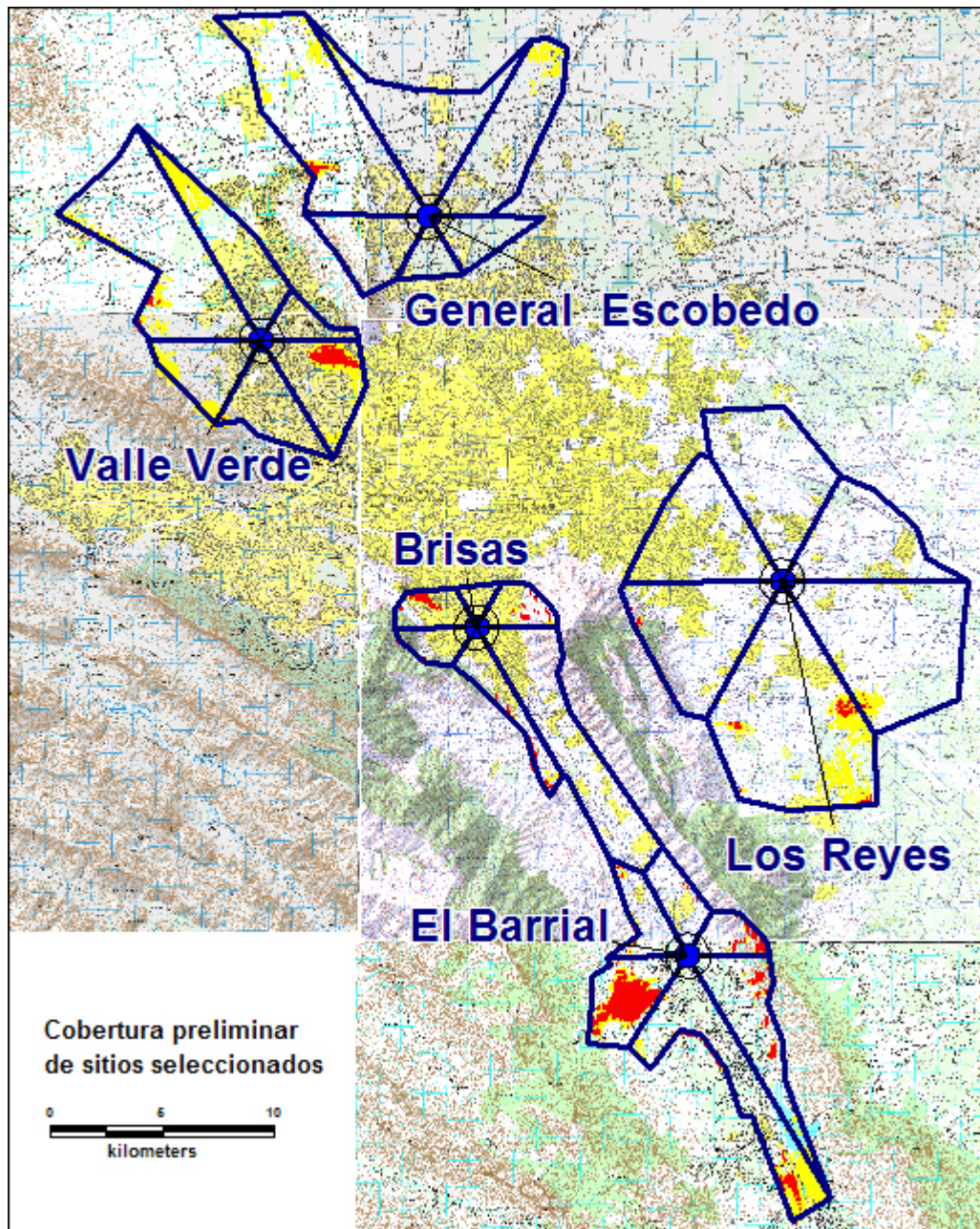


Figura 4.4. Resultados de cobertura obtenidos por el software.

4.1.3. Estudios de campo

Continuando con la planeación del sistema el siguiente paso es llevar a cabo el estudio de campo en cada uno de los cinco sitios. A continuación se describe el estudio realizado en uno de ellos.

Estudio de campo en el sitio Los Reyes

En este estudio se llevó a cabo un análisis visual de dicho sitio, para corroborar la existencia de la infraestructura necesaria y seleccionar el espacio para la instalación de los bastidores de telefonía inalámbrica.

En la selección del espacio para la colocación de los bastidores se tomó en cuenta que existiera una adecuada ventilación, así como suministro de energía eléctrica, además de que hubiera al menos una trayectoria para tender el cable desde el bastidor hasta la torre, dicha trayectoria debe ser independiente del cableado del suministro de energía eléctrica. La figura 4.5 muestra los puntos que se verifican dentro de la sala para instalar el equipo.



Figura 4.5. Sala donde se instalará el SMG.

Por otra parte, se selecciona el espacio en que deben ser instaladas las antenas en la torre, considerando lo siguiente:

- Los espacios libres en la torre.
- La cercanía del sitio con las poblaciones a las que se pretende dar servicio telefónico; debido a que entre más lejos se encuentren las poblaciones mayor será la altura necesaria

para obtener la línea de vista y de manera contraria para las poblaciones muy próximas es necesario que las antenas no se encuentren colocadas a gran altura.

En la torre del sitio Los Reyes se observó que existían varias antenas pertenecientes a otros sistemas, instaladas a diferentes alturas, encontrando un espacio libre a 36 metros, figura 4.6.

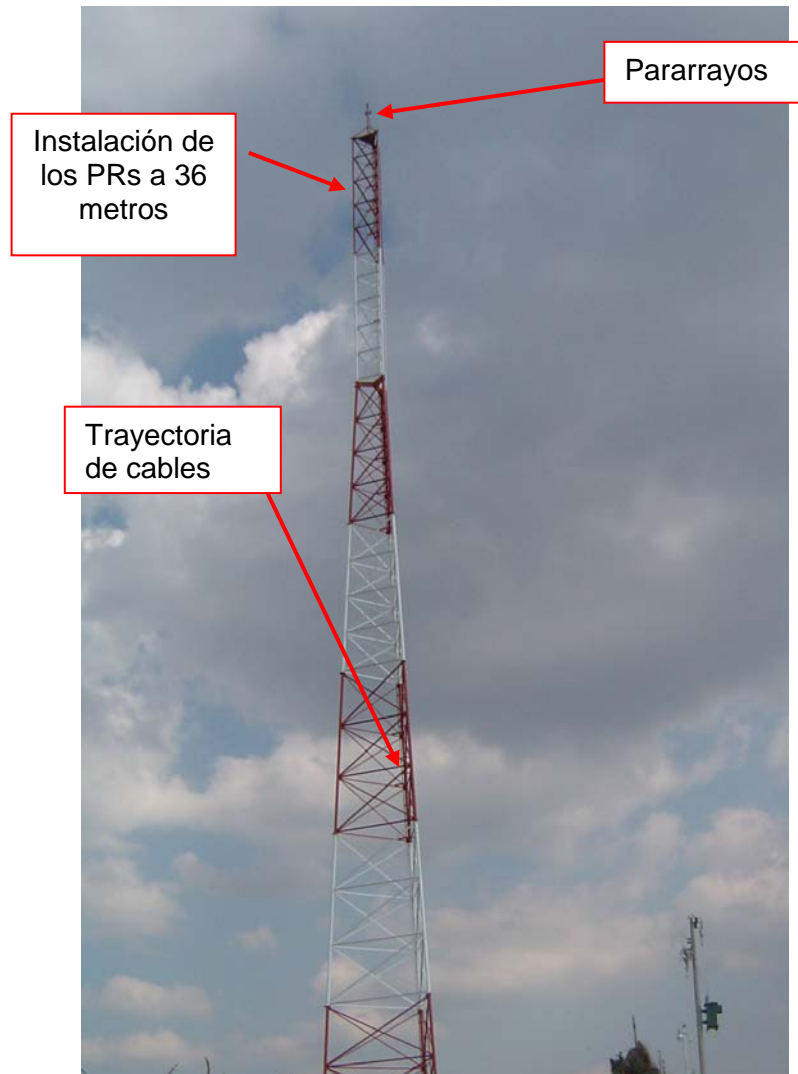


Figura 4.6. Torre donde se instalan las antenas de radio.

A esta altura, con la finalidad de determinar la cobertura real del sitio, se realizó un estudio de línea de vista con la ayuda de binoculares y un mapa, este último sirve como referencia para localizar las áreas de demanda y para ir señalando en él las zonas donde se encuentran obstáculos que limitan la línea de vista, conocidas como zonas de sombra, y que son producidas

por la vegetación de la zona, orografía del terreno o las construcciones. En la figura 4.7 se puede observar el área de cobertura de la radio base, las zonas a rayas representan las zonas de sombra.

Una vez realizado el estudio de línea de vista se concluyó que la altura de 36 metros era la óptima para la instalación de los PRs, debido a que esta altura se puede dar servicio a todas las áreas de demanda que se encuentran alrededor de Los Reyes.

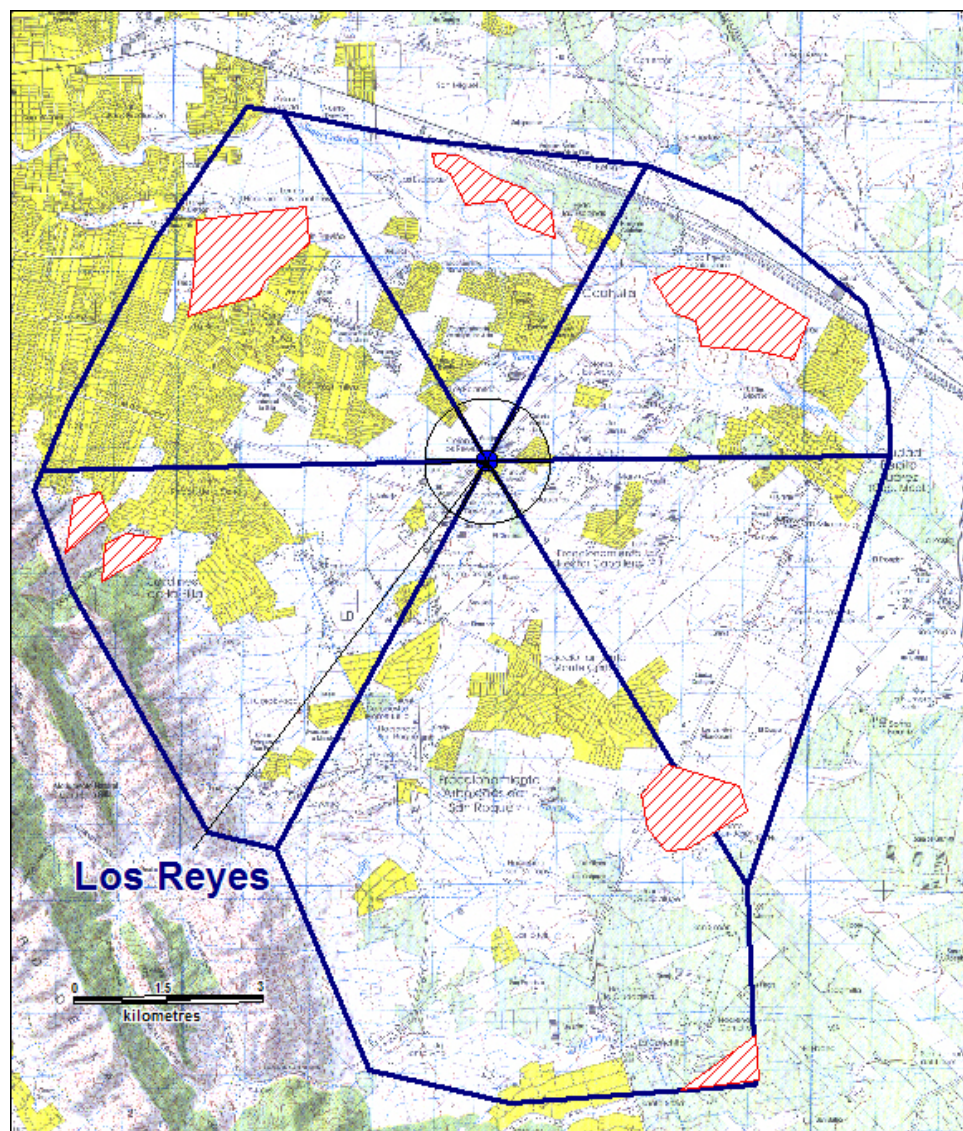


Figura 4.7. Cobertura del sitio Los Reyes.

Como parte del estudio de campo se realiza una inspección visual para verificar que exista la adecuada protección eléctrica: tierras, fusibles, banco de batería para respaldo, pararrayos. Se verifica también que dentro de la sala existan sistemas que proporcionen las condiciones ambientales idóneas para el funcionamiento del SMG; dichos sistemas consisten en equipos de aire acondicionado y pueden incluir también ductos de ventilación que proporcionan las condiciones de humedad y temperatura en las cuales opera el equipo.

De forma análoga se realizó el mismo estudio para cada uno de los sitios. Con base en dichos estudios se llegó a las siguientes conclusiones:

- Valle Verde, ubicado al poniente de la ciudad, ofrecerá servicio a la colonia Real de Cumbres.
- General Escobedo, ubicado al norte de la ciudad, ofreciendo servicio a Ciudad General Escobedo y a Nueva Castilla.
- Los Reyes, ubicado en el extremo oriente de la ciudad, atenderá a las poblaciones Monte Cristal, Jardines de la Silla, Arboledas de San Roque, Xochimilco, Benito Juárez y Coahuila.
- El Barrial, al sur de la ciudad, para atender las poblaciones de El Cerrito y el Barrial.
- Brisas, ubicado al sureste de la ciudad, para dar servicio a las poblaciones de Las Jaras y fraccionamiento El Batro; sin embargo, durante el estudio de campo se observó que presenta muchos problemas de cobertura debidos a obstáculos geográficos que reducen la línea de vista, y no proporciona cobertura en las zonas deseadas. Por lo que se optó por no considerar dicho sitio y cubrir a estas zonas con la radio base más cercana, en este caso El Barrial.

Como se hace notar el sitio Brisas fue descartado, quedando sólo cuatro sitios en donde se instalarán las radio bases. En la figura 4.8 se muestra la cobertura real de éstos.

Una vez terminados los estudios de campo, el siguiente paso es determinar por medio de estudios de radio interferencia en cada uno de los cuatro sitios seleccionados, el ancho de banda dentro del cual podrá operar el SMG; esto a partir del ancho de banda asignado por la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) al operador, el cual abarca desde los 3550 MHz hasta 3575 MHz.

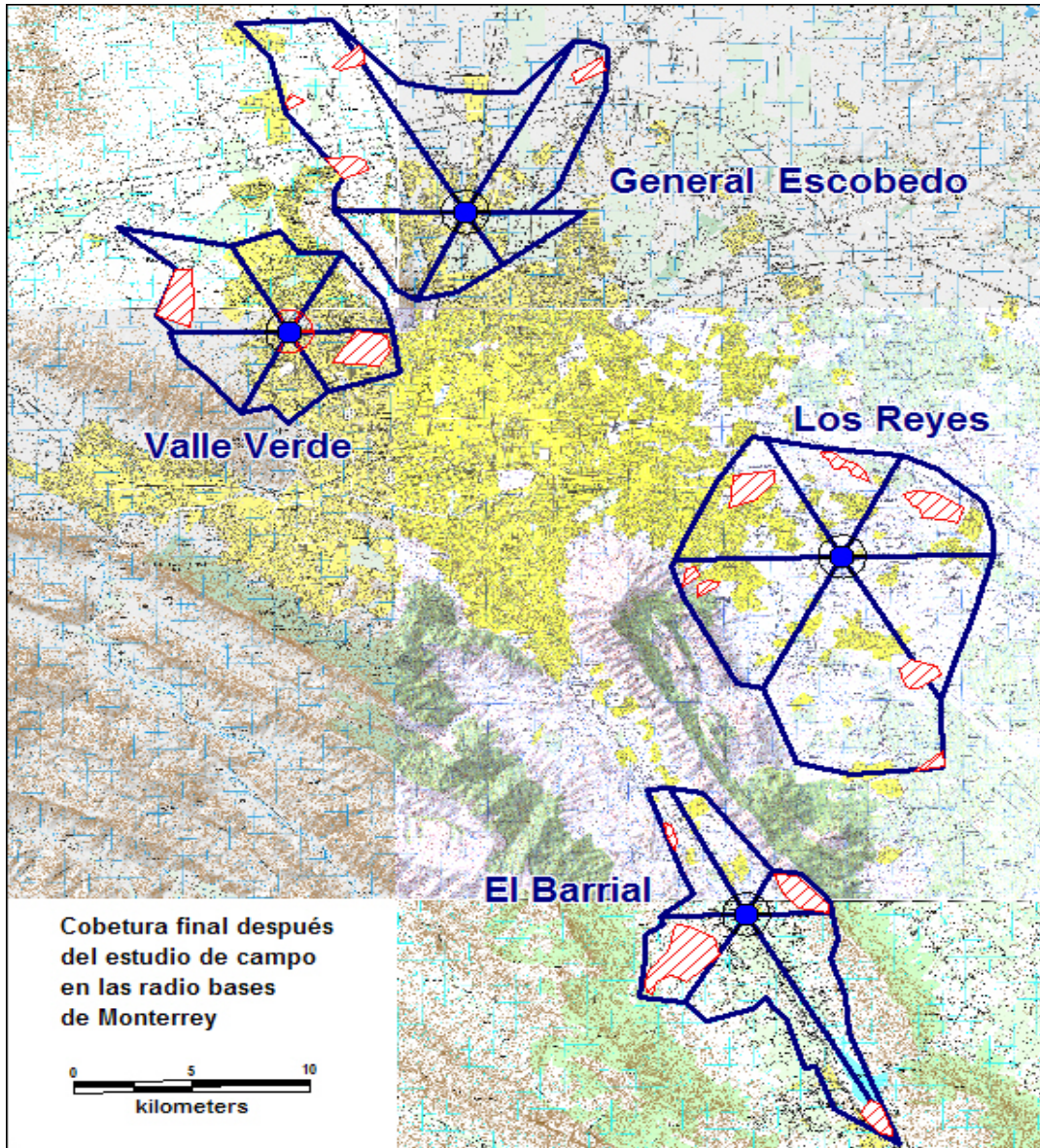


Figura 4.8. Cobertura de las cuatro radio bases.

4.1.4. Estudios de radio interferencia

El estudio de radio interferencia se realiza, como se mencionó en el capítulo II, con ayuda de un analizador de espectros, una antena direccional, amplificadores y cables de conexión.

Siguiendo el arreglo presentado en la de la figura 2.1, capítulo II, se instala la antena en la torre con una orientación geográfica de 0° y se conecta al amplificador por medio del cable, éste a su vez se conecta al analizador de espectros. En el analizador de espectros se programa una

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

ventana que muestre únicamente el ancho de banda de interés (3550 MHz hasta 3575 MHz) y se toman lecturas del comportamiento del espectro electromagnético, en busca de sistemas que estén trabajando en dicho ancho de banda.

Debido a que la antena con la que se toman las lecturas tiene un patrón de radiación de 60°, se deben hacer 6 mediciones para obtener la información correspondiente a los 360° de cobertura, en cada lectura se obtiene una imagen del comportamiento del espectro en cada sector.

En caso de encontrar algún sistema operando en el ancho de banda, automáticamente se descartan las frecuencias en que éste opera.

Para el caso del sitio Los Reyes, en la primera medición se encontró un sistema que opera entre los 3560 y 3565 MHz, mientras que el resto del ancho de banda se encuentra libre.

La figura 4.9 muestra la primera lectura tomada en el sitio Los Reyes, con dirección hacia el sector 1, en ella se observa que:

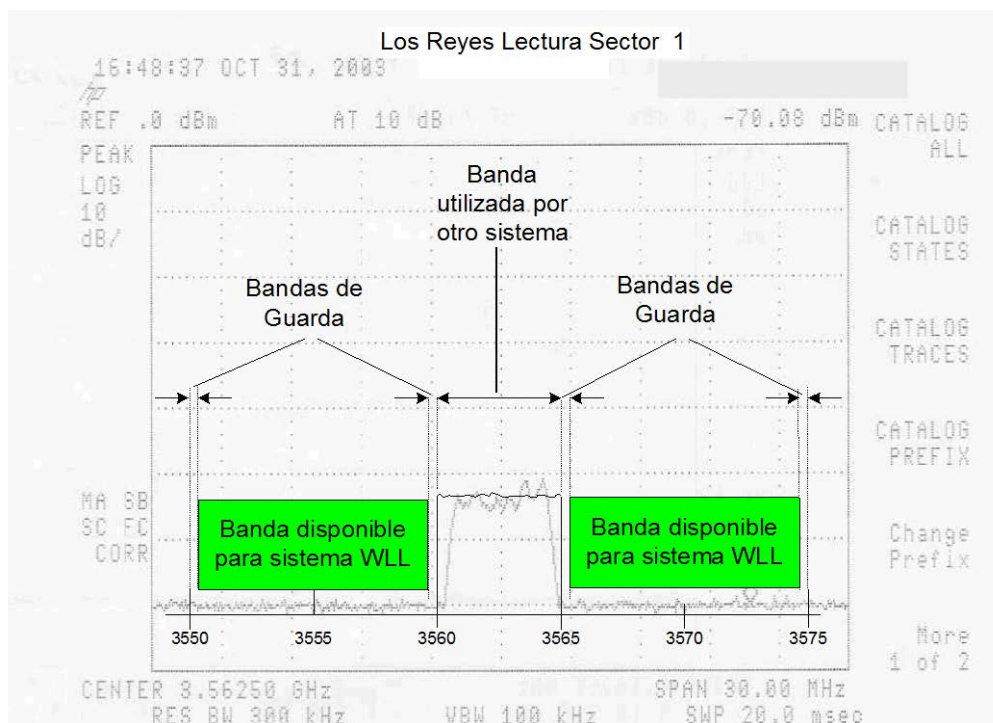


Figura 4.9. Primera lectura del ancho de banda del sitio Los Reyes.

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

- El centro de la medición es de 3.5625 GHz (que es el centro del ancho de banda analizado).
- El ancho de la ventana es de 30 MHz (25 MHz del ancho de banda y 2.5 MHz a cada extremo de éste para observar el comportamiento del espectro electromagnético).
- Sólo hay un sistema operando y se encuentra al centro del ancho de banda.
- Hay cuatro bandas de guarda, cada una de ellas tiene un ancho de 0.5 MHz. Estas bandas nos ayudarán a prevenir interferencia con el sistema encontrado y con los posibles sistemas que operen en los extremos de la banda asignada al operador.
- Hay dos intervalos de ancho de banda disponibles para el SMG; el primero comprende de 3550.5 hasta 3559.5 MHz mientras que el segundo de 3565.5 hasta 3574.5 MHz.

Las lecturas de los sectores 2, 3 y 4 se presentan en las figuras 4.10, 4.11 y 4.12. En éstas se puede observar que dentro del ancho de banda asignado está presente el mismo sistema observado en el sector 1 (figura 4.9), sin embargo el nivel de potencia es menor con respecto a dicha figura; de esta manera se concluye que el sistema encontrado está instalado en dirección al sector 1.

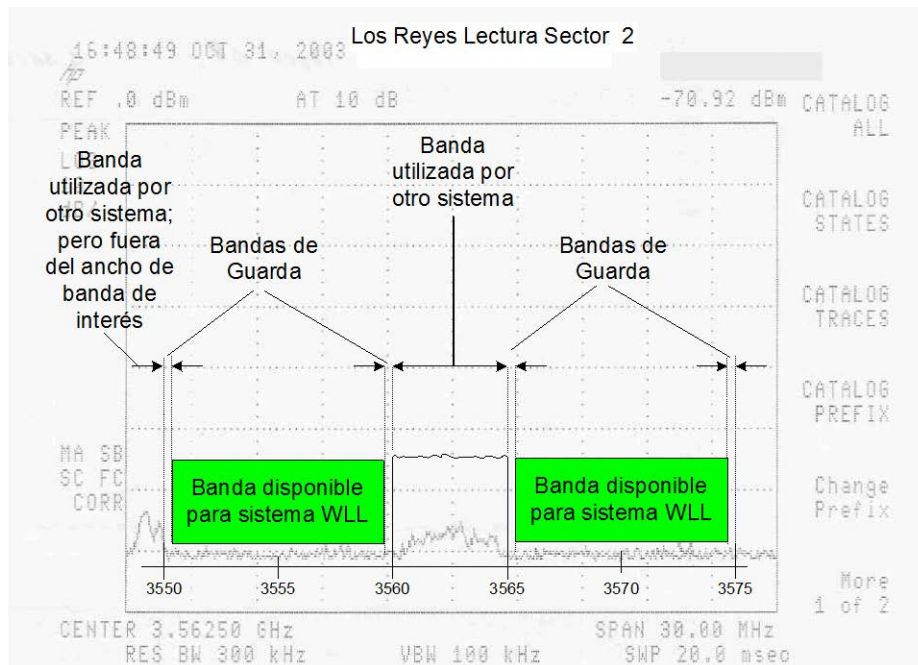


Figura 4.10. Segunda lectura del ancho de banda del sitio Los Reyes.

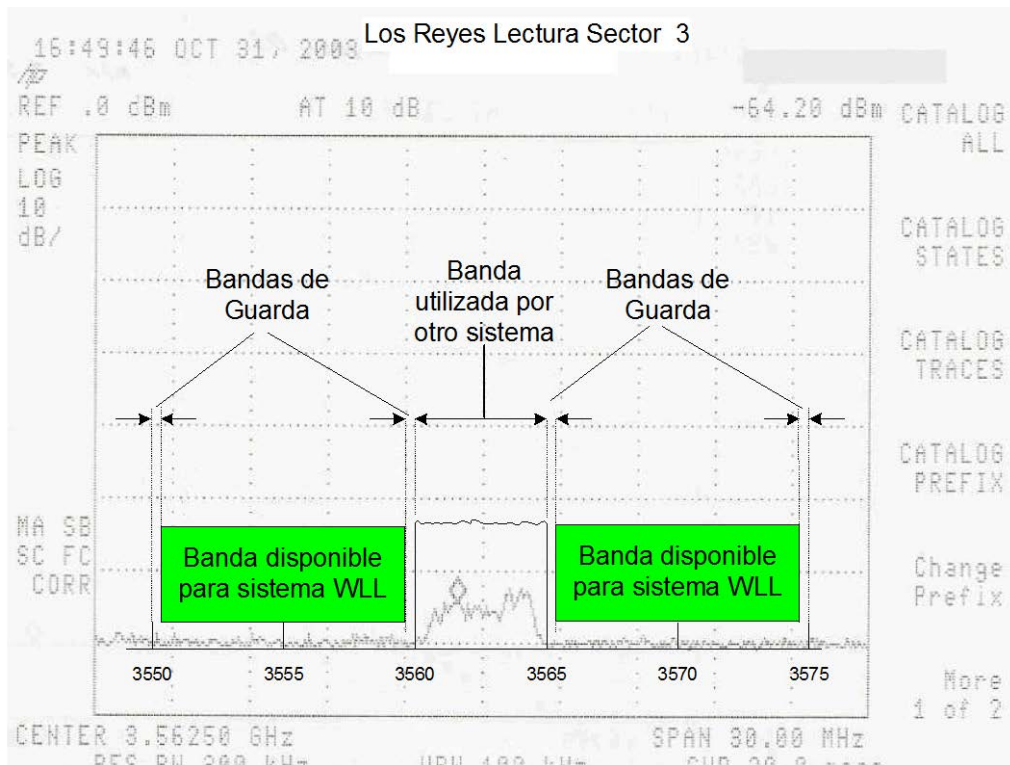


Figura 4.11. Tercera lectura del ancho de banda del sitio Los Reyes.

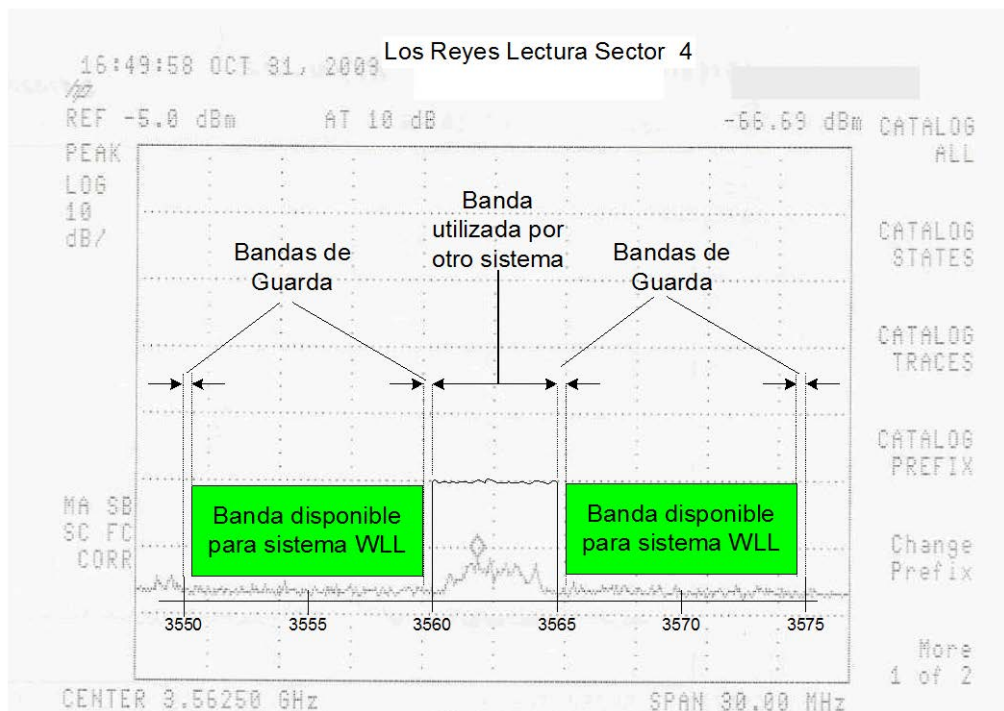


Figura 4.12. Cuarta lectura del ancho de banda del sitio Los Reyes.

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

Los sectores 5 y 6 no presentaron señales de otros sistemas dentro de la banda de interés, (figuras 4.13 y 4.14).

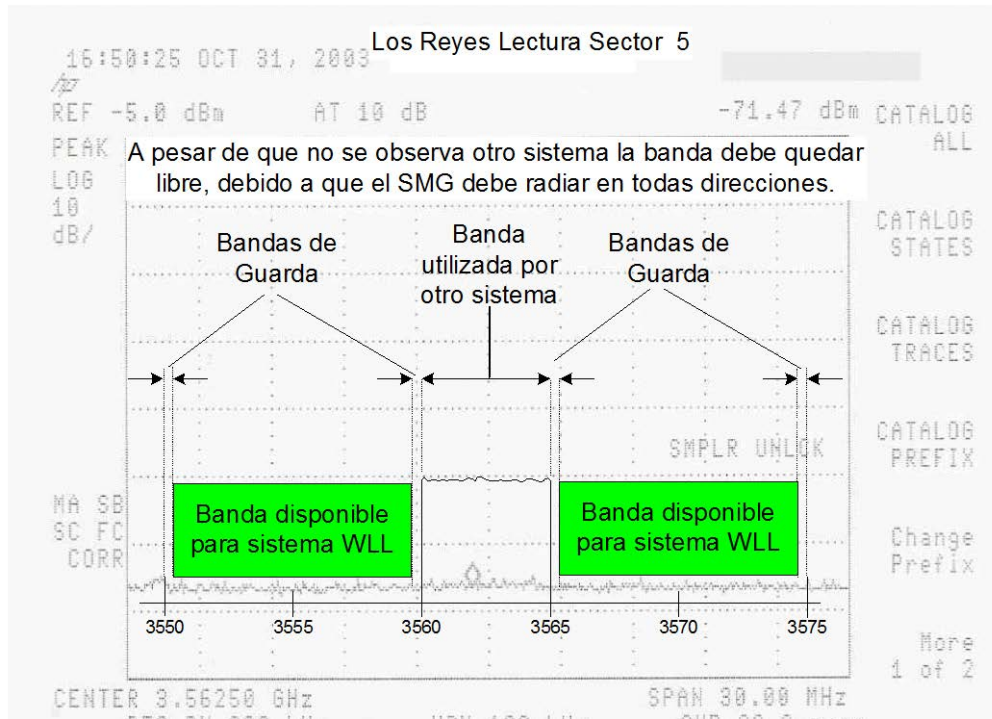


Figura 4.13. Quinta lectura del ancho de banda del sitio Los Reyes.

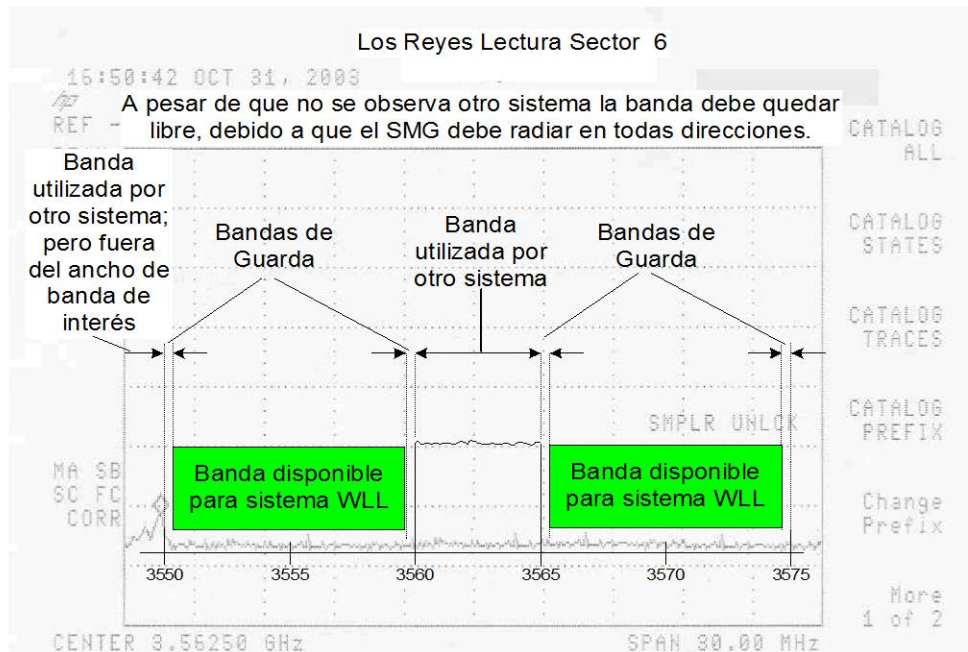


Figura 4.14. Sexta lectura del ancho de banda del sitio Los Reyes.

Debido a que los requerimientos del operador exigen dar cobertura en todas las direcciones de la radio base, no se puede ocupar el ancho de banda del sistema encontrado en las lecturas de los sectores 1, 2, 3 y 4; ya que causaríamos interferencia con el sistema ya existente.

En la determinación del ancho de banda disponible es importante considerar una banda de guarda entre el SMG y el resto de los sistemas. La banda de guarda ofrece un margen de seguridad para evitar posibles interferencias en los límites del ancho de banda. Por experiencia para el SMG, la banda de guarda apropiada es de 0.5 MHz.

De forma análoga se realizaron los estudios de radio interferencia en el resto de las radio bases, sin encontrar en ellas rastro de sistemas trabajando en la banda de interés.

Una vez hechos los estudios de radio interferencia en los sitios y considerando la banda de guarda, se concluye que el ancho de banda disponible para el SMG será de 3550.5 a 3559.5 MHz y de 3565.5 a 3574.5 MHz, es decir, se tienen 18 MHz disponibles en total, divididos 9 MHz en la parte baja del ancho de banda y 9 MHz en la parte alta del mismo.

Una vez determinado el ancho de banda del SMG, se puede generar una tabla de saltos de frecuencias haciendo uso de un software que aplica un algoritmo matemático al intervalo de frecuencias en que se requiere trabajar.

El modelo del algoritmo es desconocido, pero el resultado de su aplicación siempre será una tabla, en la cual las frecuencias tienen un espaciamiento de al menos 2 MHz entre cada fase, (tabla 4.3), de tal forma que entre los PRs instalados en un sector cualquiera y los PRs instalados en los sectores adyacentes no se presenten frecuencias consecutivas, las cuales podrían generar problemas de interferencia en la radio base.

Fase	Frecuencia
1	3551
2	3568
3	3555
4	3572
5	3559

Tabla 4.3. Saltos de frecuencias en el SMG. (Continúa).

Fase	Frecuencia
6	3552
7	3569
8	3556
9	3573
10	3566
11	3553
12	3570
13	3557
14	3574
15	3567
16	3554
17	3571
18	3558

Tabla 4.3. Saltos de frecuencias en el SMG.

Con lo expuesto anteriormente se puede hacer la determinación del equipo requerido en cada uno de los sitios.

4.1.5. Determinación de componentes de los SMG

Para la determinación del equipo necesario en cada uno de los sitios, tomaremos los datos de la tabla 4.4, proporcionada por el operador de servicio telefónico.

Sitios	Sector	Líneas por Sector	Líneas de Datos (10%)	Sitios	Sector	Líneas por Sector	Líneas de Datos (10%)
Valle Verde	1	0	0	General Escobedo	1	62	6
	2	0	0		2	60	6
	3	0	0		3	63	6
	4	0	0		4	63	6
	5	218	22		5	126	13
	6	282	28		6	126	13

Tabla 4.4. Demanda de líneas por sector para las radio bases. (Continúa).

Sitios	Sector	Líneas por Sector	Líneas de Datos (10%)	Sitios	Sector	Líneas por Sector	Líneas de Datos (10%)
Los Reyes	1	100	10	El Barrial	1	125	13
	2	250	25		2	20	2
	3	100	10		3	112	11
	4	200	20		4	173	17
	5	100	10		5	60	6
	6	200	20		6	95	10

Tabla 4.4. Demanda de líneas por sector para las radio bases.

Los elementos susceptibles de determinación son: número de antenas en cada uno de los sectores, el número de UCPRs y el equipo misceláneo (herrajes y cableado) de la instalación.

De igual forma que la demanda de líneas, el operador de servicio telefónico proporciona los datos de:

- GoS, el cual debe ser del 1%.
- El tráfico en Erlangs que debe ser 0.07 Erlang/usuario.
- Además se debe considerar que la cantidad de usuarios con servicio de datos vía MODEM a 56 kbps es del 10% del total de líneas para cada sector.

Considerando lo anterior, para el caso de la radio base Los Reyes, la demanda de abonados total es de 950 líneas, ver tabla 4.4.

Así, para calcular el número de antenas que satisfagan las 100 líneas necesarias en el sector 1 de los Reyes, haremos uso de las tablas de Erlang B, tabla 4.5.

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

G.O.S.	0.005%	1.000%	2.000%	3.000%	G.O.S.	0.005%	1.000%	2.000%	3.000%
Canales					Canales				
1	0.005	0.010	0.020	0.031	21	11.860	12.840	14.040	14.890
2	0.105	0.153	0.223	0.282	22	12.630	13.650	14.900	15.780
3	0.349	0.455	0.602	0.715	23	13.420	14.470	15.760	16.680
4	0.701	0.869	1.090	1.260	24	14.200	15.300	16.630	17.580
5	1.130	1.360	1.660	1.880	25	14.997	16.125	17.505	18.483
6	1.620	1.910	2.280	2.540	26	15.795	16.959	18.383	19.392
7	2.160	2.500	2.940	3.250	27	16.598	17.797	19.265	20.305
8	2.730	3.130	3.630	3.990	28	17.406	18.640	20.150	21.220
9	3.333	3.783	4.345	4.748	29	18.220	19.490	21.040	22.140
10	3.961	4.461	5.084	5.529	30	19.030	20.340	21.930	23.060
11	4.610	5.160	5.842	6.328	31	19.850	21.190	22.830	23.990
12	5.279	5.876	6.610	7.140	32	20.680	22.050	23.720	24.910
13	5.960	6.610	7.400	7.970	33	21.505	22.909	24.626	25.844
14	6.660	7.350	8.200	8.800	34	22.336	23.772	25.529	26.776
15	7.380	8.110	9.010	9.650	35	23.169	24.638	26.435	27.711
16	8.100	8.880	9.830	10.510	36	24.006	25.507	27.340	28.650
17	8.834	9.652	10.656	11.368	37	24.850	26.380	28.250	29.590
18	9.578	10.437	11.491	12.238	38	25.690	27.250	29.170	30.530
19	10.331	11.230	12.333	13.115	39	26.530	28.130	30.080	31.470
20	11.092	12.031	13.180	14.000	40	27.380	29.010	31.000	32.410

Tabla 4.5. Tabla de Erlang B.

Tomando en cuenta el 1% de GoS, y considerando que, como se dijo en el capítulo III, cada antena tiene 16 canales de transmisión ADPCM (canales de 32 kbps), además que el 10% de las líneas brindarán servicios de datos por MODEM (canales de 64 kbps), entonces, para el sector 1, se calcula el número de canales para satisfacer la demanda de 90 usuarios de voz y 10 usuarios de datos por MODEM. Para determinar el número de canales, se deben realizar los cálculos por separado, esto se realiza de la siguiente forma:

$$90 \text{ usuarios de voz} \times (0.07 \text{ Erlang / usuario}) = 6.3 \text{ Erlangs}$$

Con ayuda de las Tablas de Erlang se observa que no existe el valor de 6.3, por lo cual se toma el valor inmediato superior que es 6.61, y que equivale a 13 canales aéreos capaces de soportar 90 usuarios de servicio telefónico.

De igual manera se determina el número de canales de datos, obteniendo:

$$10 \text{ usuarios de datos} \times 0.07 \text{ Erlang/usuario} = 0.7 \text{ Erlang}$$

Nuevamente basándose en la tabla de Erlang no existe el valor de 0.7 y se toma el valor próximo mayor, que es 0.869, para este valor el número de canales aéreos es de 4.

De los resultados obtenidos se determina que para 90 usuarios de voz son necesarios 13 canales aéreos de 32 kbps y para 10 usuarios de datos son necesarios 4 canales de 64 kbps.

Para determinar el número de los PRs que se utilizarán, se toman las siguientes consideraciones:

- Cada PR cuenta con 16 canales aéreos de 32 kbps.
- Cada UFA puede configurarse para tomar uno o dos canales de 32 kbps.

Para realizar el cálculo de los PRs se considera que los 4 canales de 64 kbps, calculados para la demanda de datos, están conformados por dos canales de 32 kbps cada uno, entonces los 4 canales de 64 kbps estarán representados por 8 canales de 32 kbps. Por lo tanto, el número de canales para un sector de 100 líneas es de 21 (8 canales para datos por MODEM y 13 canales de voz). Lo cual indica que se deben instalar 2 PRs para el sector mencionado.

De manera similar se calculan el número de los PRs para el resto de los sectores, obteniendo la tabla 4.6.

Los Reyes		
Sector	Líneas	PRs
1	100	2
2	250	3
3	100	2
4	200	3
5	100	2
6	200	3
Total	950	15

Tabla 4.6. Cálculo del número de los PRs para la radio base Los Reyes.

El siguiente paso es determinar el número de UCPRs necesarias para controlar la radio base. Teniendo en cuenta que cada UCPR puede controlar un máximo de 8 PRs, se infiere que 2 controladores son suficientes para satisfacer la demanda del sitio.

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

De manera análoga se calcula el número de antenas y UCPRs para el resto de las radio bases, mostradas en la tabla 4.7.

Los Reyes										
Área de serv.	Zona de serv.	Num de UCPR.	Sector	Orientación Magnética	Altura de PR's [m]	Inclinación de PR's	Fases	Cantidad de PR	Número de Líneas	Cantidad de UCPR
1	7	16	1	350°	36	0°	4, 8	2	100	1
			2	50°	36	2.5°	18, 2, 10	3	250	
			3	110°	36	2.5°	1, 11	2	100	
		17	4	170°	36	2.5°	3, 17, 13	3	200	1
			5	230°	36	0	7, 5	2	100	
			6	290°	36	0	6, 14, 16	3	200	
Total								15	950	2

El Barrial										
Área de serv.	Zona de serv.	Num de UCPR..	Sector	Orientación Magnética	Altura de PR's [m]	Inclinación de PR's	Fases	Cantidad de PR	Número de Líneas	Cantidad de UCPR
1	7	12	1	350°	30	0°	7, 5	2	125	1
			2	50°	30	0°	6	1	20	
			3	110°	30	0°	4, 8	2	112	
		13	4	170°	30	0°	18, 2	2	173	1
			5	230°	30	0°	1	1	60	
			6	290°	30	0°	3, 17	2	95	
Total								10	585	2

Valle verde										
Área de serv.	Zona de serv.	Num de UCPR.	Sector	Orientación Magnética	Altura de PR's [m]	Inclinación de PR's	Fases	Cantidad de PR	Número de Líneas	Cantidad de UCPR
1	7	1	1	350°	33	0°	-	0	0	1
			2	50°	33	0°	-	0	0	
			3	110°	33	0°	-	0	0	
			4	170°	33	0°	-	0	0	
			5	230°	33	0°	4, 8, 12	3	218	
			6	290°	33	0°	18, 2, 10, 1	4	282	
Total								7	500	1

Tabla 4.7. Cálculo de antenas y UCPRs para todos los sitios. (Continúa)

General Escobedo										
Área de serv.	Zona de serv.	Num de UCPR..	Sector	Orientación Magnética	Altura de PR´s [m]	Inclinación de PR´s	Fases	Cantidad de PR	Número de Líneas	Cantidad de UCPR
1	7	8	1	350°	33	0°	1	1	62	1
			2	50°	33	0°	3	1	60	
			3	110°	33	2.5°	7	1	63	
			4	170°	33	2.5°	6	1	63	
			5	230°	33	2.5°	4, 8	2	126	
			6	290°	33	0	18, 2	2	126	
Total								8	500	1

Tabla 4.7. Cálculo de antenas y UCPRs para todos los sitios.

Consideraciones de configuración

Después de hacer el cálculo de los componentes se debe tomar en cuenta que las radio bases deben tener una configuración única para cada UCPR. La forma de hacerlo es dando parámetros de numeración a cada uno de ellos; los parámetros personalizan los elementos de la red (UCPRs) y sirve para evitar confusiones durante la configuración de la radio base y de los usuarios asignados a cada una. Estos valores obedecen a la región en que se instalan las radio bases del SMG.

Para la región de Monterrey se deben definir los parámetros de configuración de las radio bases, dichos parámetros son: área de servicio, zona de servicio y número de UCPR.

- Área de servicio, es un parámetro que nos permite gestionar a todos los SMG a nivel nacional, el valor usado para el país es 1.
- Zona de servicio en que opera el SMG, se refiere a la región geográfica específica donde se realizará el proyecto, varía de 1 a 128, y para la zona de Monterrey el valor es 7.
- Número de UCPR, se refiere al elemento de red (UCPR) que proporcionará el servicio, puede haber un máximo de 32 elementos por cada zona de servicio.

En la Tabla 4.7 también se dan los parámetros antes mencionados.

4.2. Implementación del sistema SMG

Después de hacer el cálculo del equipamiento necesario para la instalación de las radio bases, lo siguiente es empezar con la instalación en los sitios. Como un estudio de caso, se ejemplificará el proceso de instalación con la radio base Los Reyes.

Para proceder en la instalación se tomaron en cuenta los resultados obtenidos de equipamiento y la infraestructura con la que cuenta la radio base, de acuerdo al estudio de campo, como se hizo referencia en el capítulo II. De dicho estudio se consideraron los siguientes puntos:

- Ubicación de los equipos en la sala donde se instalarán.
- Ubicación del suministro de energía eléctrica.
- Determinación de las trayectorias de los cables de alimentación y de transmisión.
- Ubicación de los puntos de protección.
- Determinación de la altura de las antenas en la torre.

El primer paso a seguir es la instalación del bastidor, mismo que permite la instalación del equipo UCPR así como del SSG; posteriormente se describirá la instalación de las antenas.

4.2.1. Instalación de la UCPR y del SSG

En general, el equipamiento de la central telefónica del SMG se instala en bastidores, adaptados a los requerimientos específicos de instalación de cada unidad y diseñados para posibilitar la instalación eficiente del equipamiento requerido en diferentes configuraciones del sistema.

A manera de ejemplo presentaremos el procedimiento de montaje del bastidor ubicado en la central Los Reyes.

La instalación del equipo se lleva a cabo desde el frente del bastidor y los cables se conectan a los paneles frontal y trasero de las unidades del equipo, según corresponda. El panel superior del bastidor tiene aperturas para el pasaje de cables que conectan al equipo instalado en éste, figura 4.15.

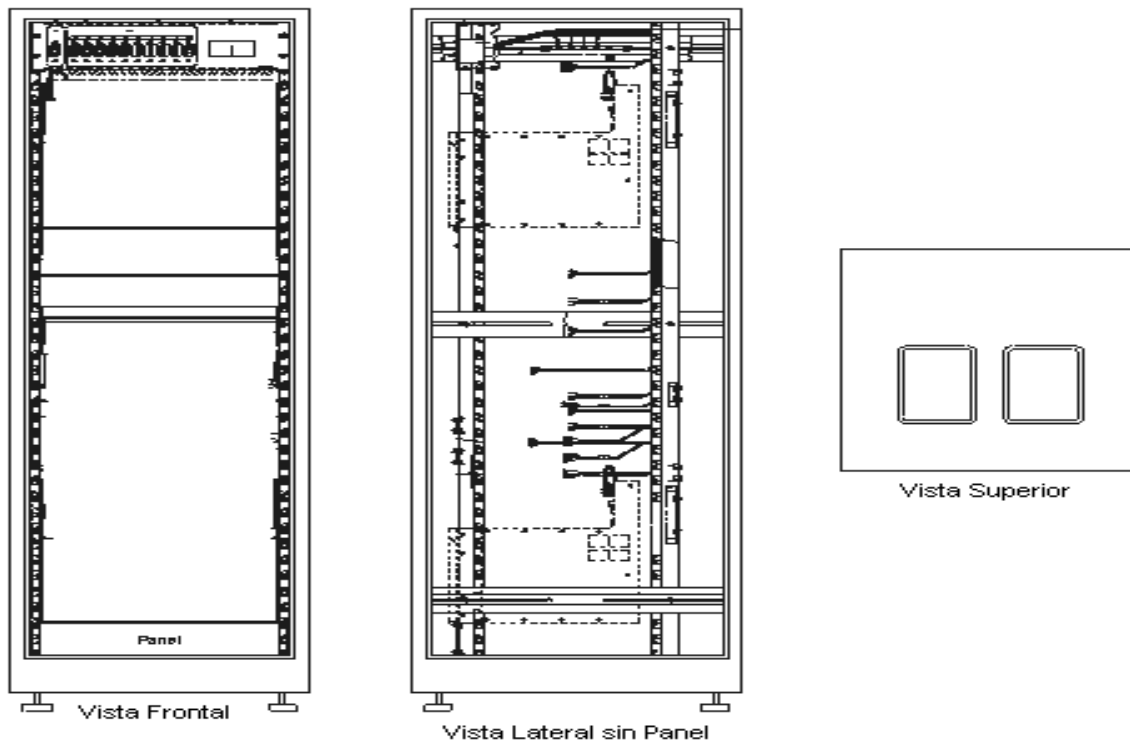


Figura 4.15. Bastidor del SMG.

El bastidor central soporta la instalación del siguiente equipo:

- a) Dos UCPRs que proporcionan la interfaz al siguiente equipo:
 - Equipo de la central/estación de base del operador: las conexiones a través de las troncales E1 o a través del equipo de transmisión E1 estándar, según se requiera.
 - Hasta 16 PRs, dependiendo del número de abonados a distancia que deben ser admitidos.
- b) Un subsistema SSG, que comprende un receptor SPG y una UTG, utilizados para proporcionar una referencia de temporización precisa para los componentes del SMG.
- c) Sistema de ventilación de aire, para la expulsión del flujo de aire caliente generado por el equipo instalado.

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

El procedimiento de instalación del bastidor para el caso de la radio base Los Reyes es el siguiente:

Se verifica que el espacio asignado para el bastidor cubra las necesidades de dimensionamiento y además permita el acceso para servicio e instalación del mismo.

En la parte inferior del bastidor se tienen cuatro ranuras para la fijación de éste sobre la fila de transmisión (que es un espacio designado a los diferentes gabinetes del operador). Cada ranura tiene un diámetro de 3/8 de pulgada, en la figura 4.16 se ilustran las posiciones donde se realizarán las perforaciones en el piso para la fijación del bastidor. Una vez marcadas las ranuras y haber verificado la distancia de ellas, se procederá a realizar las perforaciones y fijar el bastidor.

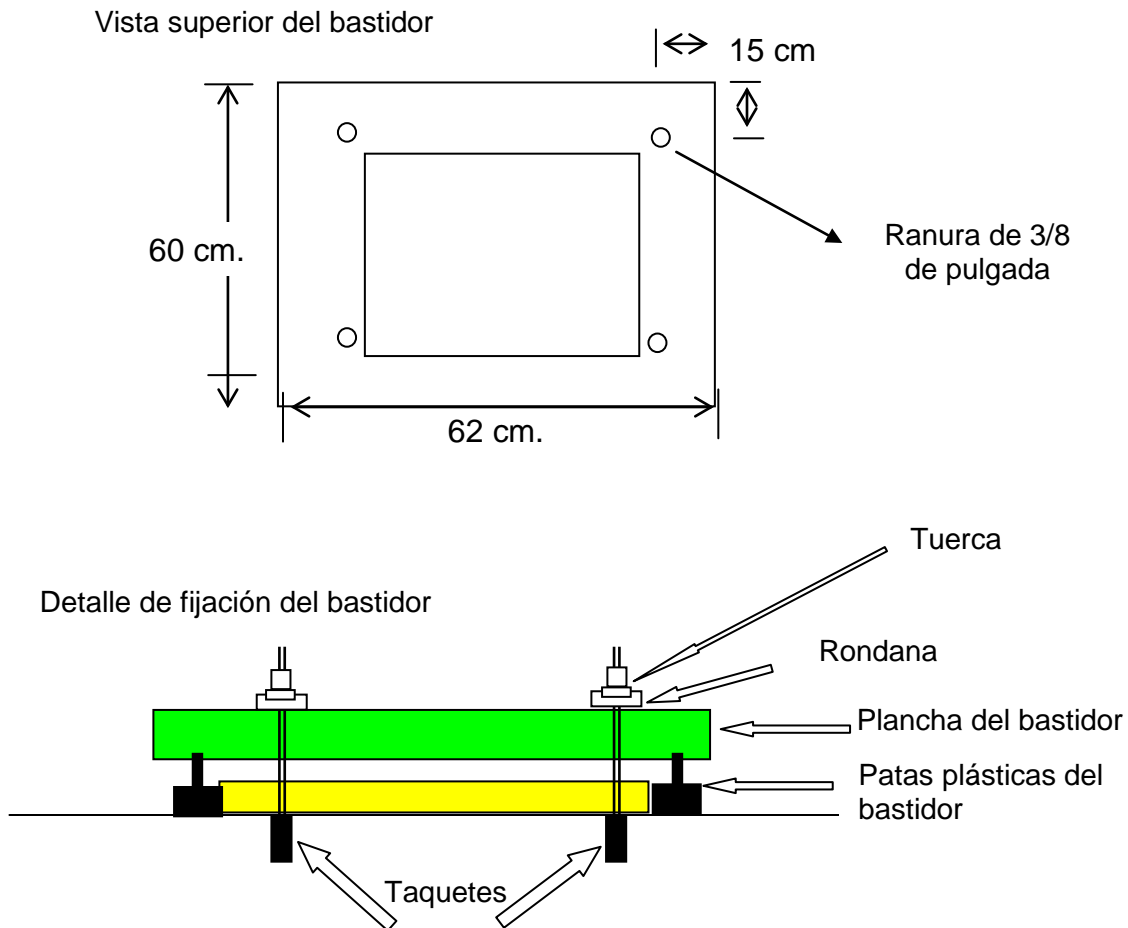


Figura 4.16. Fijación del bastidor al piso.

Una vez fijado el bastidor en la parte inferior se procederá a fijar la escalerilla que lleva los cables del bastidor hacia la escalerilla de la charola de cables.

La escalerilla se fijará con ángulo de aluminio, el cual deberá estar perforado en 4 puntos para su mejor sujeción. Se utilizarán tornillos con rondanas planas y de presión, como se muestra en la figura 4.17.

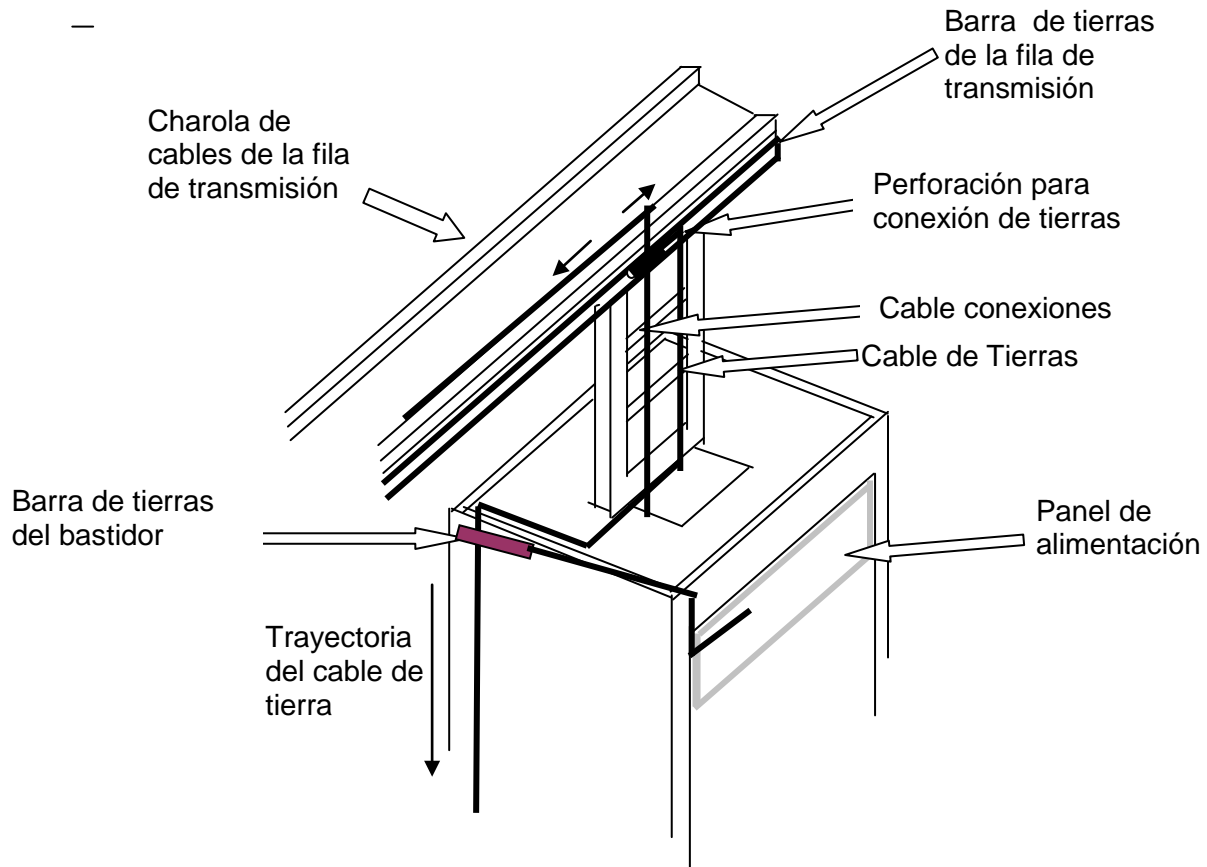


Figura 4.17. Fijación superior del bastidor.

En la figura 4.17 se observa también que se encuentra una barra de tierra debajo de la charola de cables, en donde deberemos de encontrar espacio suficiente para poder instalar las conexiones de tierra.

Los requerimientos de alimentación para el bastidor son: una tensión nominal de -48 VCC y un consumo de corriente máximo de 8 A.

Instalación de la UCPR

Se debe identificar la ubicación de la UCPR en el bastidor del equipo designado (figura 4.15). Y a su vez verificar que no esté alimentado. Se Inserta la UCPR en la posición designada desde el frente del bastidor, y se asegura la UCPR a los rieles del bastidor.

La información que se presenta proporciona los procedimientos de cableado para la configuración del sistema. Todas las conexiones se llevan a cabo en el panel de conectores de la UCPR al cual se accede desde el frente de la unidad. Los conectores, las terminales de alimentación y de protección de tierras se identifican en la figura 4.18.

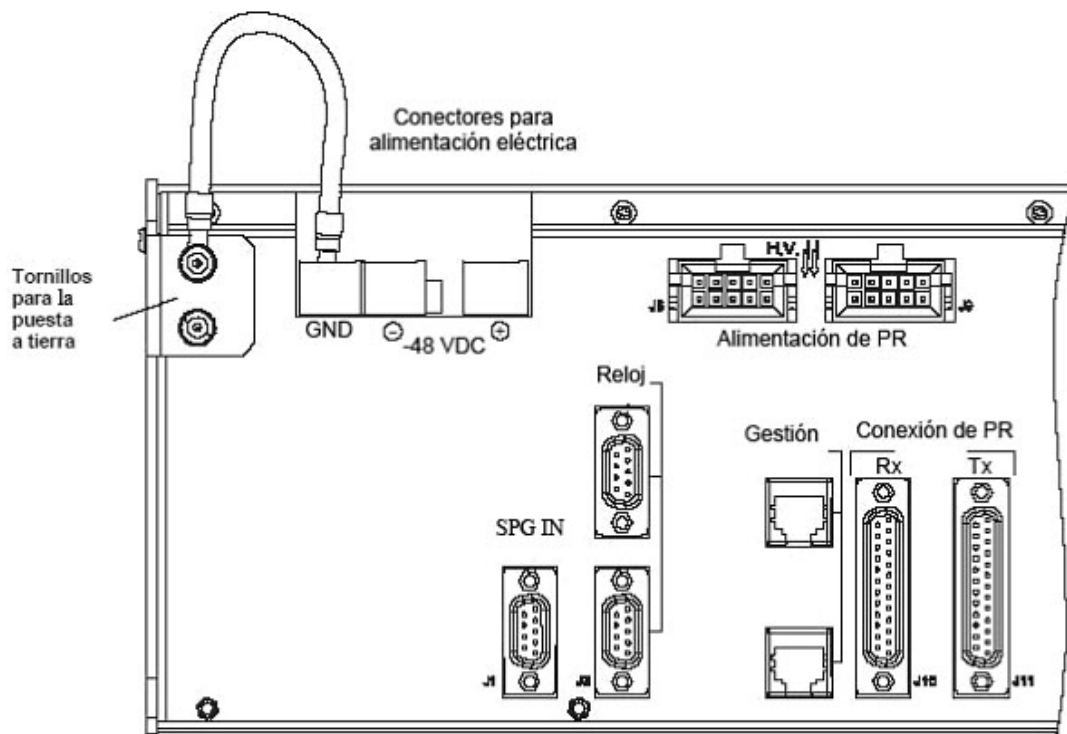


Figura 4.18. Panel de conectores de la UCPR.

La tabla 4.8 muestra las características del cableado necesario para las conexiones del panel frontal.

Función	Tipo de conector en la UCPR	Puntos de conexión
Alimentación	Terminales de tornillo	Alimentación -48V
Tierra protectora	Terminales de tornillo	Tierra protectora
Entrada de datos y reloj externo	Hembra tipo D de 9 terminales	Fuente de reloj externo
Salida de datos y reloj	Hembra tipo D de 9 terminales	Entrada de reloj y datos de otras UCPRs
Líneas E1 a la central local	Macho tipo D de 25 terminales	Central local
Líneas E1 a los PRs	Macho tipo D de 25 terminales	PRs
Líneas de alimentación al PR	Moles 10 terminales	PRs

Tabla 4.8. Cableado del panel frontal de la UCPR.

Los cables son encaminados por la parte lateral del bastidor hasta llegar a la parte posterior del mismo, donde serán conectados a una caja de conexiones (figura 4.19).

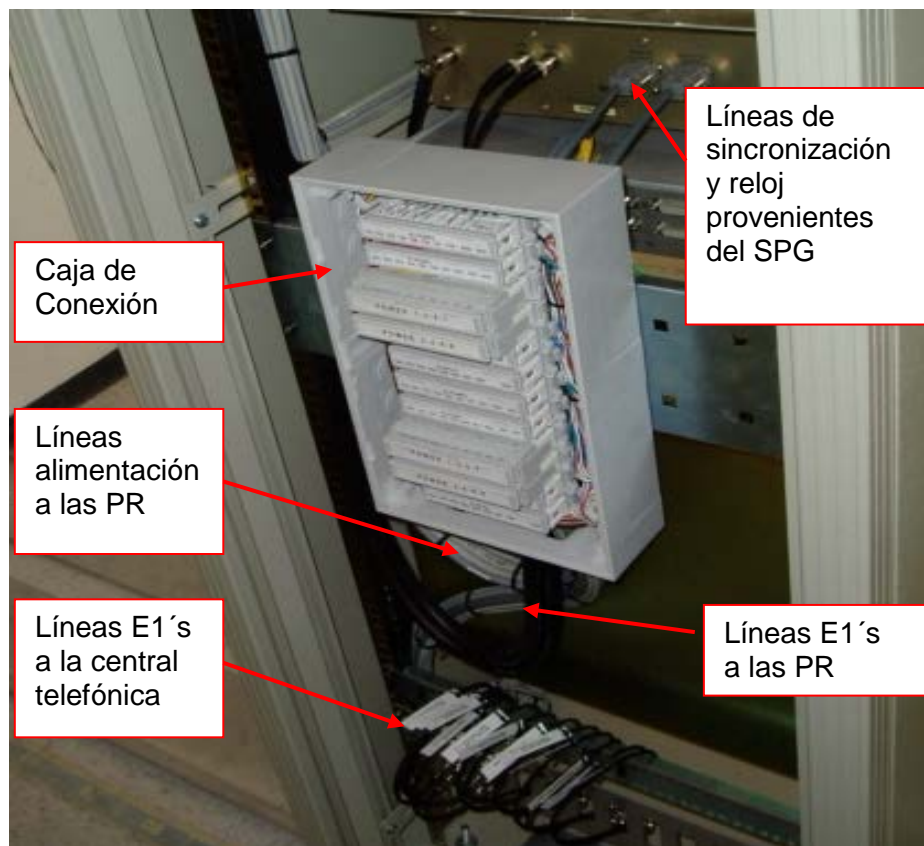


Figura 4.19. Vista posterior del bastidor.

La finalidad de instalar la caja en la parte posterior es tener un fácil acceso a la misma, así como dejar libre el espacio en la parte frontal del bastidor para permitir la instalación de las dos UCPRs necesarias en la radio base de Los Reyes y del sistema SSG.

Instalación del SSG

Como ya se mencionó, el SSG se compone de un SPG y de una UTG. Ambos se instalan en el bastidor y se conectan de la siguiente manera:

El SPG cuenta con una antena que permite recibir la señal proveniente de los satélites, además de procesarla y enviar a la UTG dos señales fundamentales para su operación: la señal de sincronía y la de reloj. La antena se instala en un lugar despejado para asegurar una buena recepción. En Los Reyes la instalación se realizó sobre el techo del edificio, figura 4.20.



Figura 4.20. Instalación de la antena del SPG.

La UTG recibe del SPG las señales de sincronía y de reloj, las procesa y envía a la UCPR los datos necesarios para realizar el salto de frecuencia acorde a la señal proveniente del satélite. Esto a su vez sirve para cuando se tienen varias radio bases operando en zonas cercanas, todas las UCPRs de cada radio base se sincronizan para realizar el salto de frecuencia al mismo tiempo.

Una vez instalados todos los elementos como se muestran en la figura 4.21, el bastidor se conecta a la alimentación eléctrica y se prueba que los elementos enciendan.

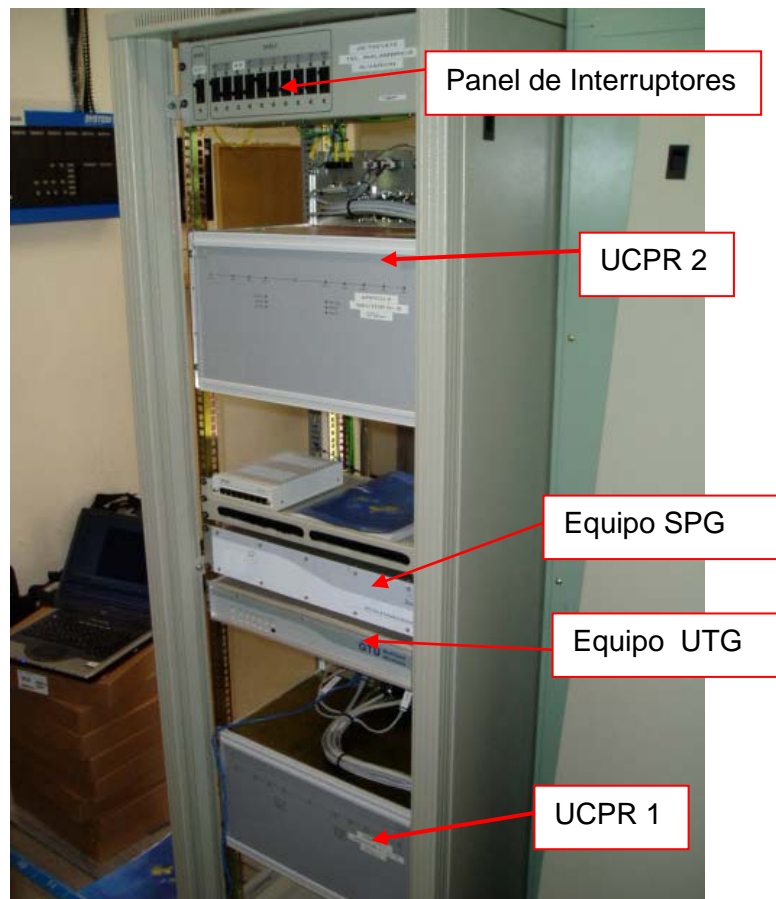


Figura 4.21. UCPRs y SSG instalados en el bastidor, Los Reyes.

4.2.2. Instalación de los PRs

Los PRs se deben instalar sobre la torre de cada central. De acuerdo a los resultados obtenidos durante el estudio de campo, dada la altura y la ocupación de la torre, podemos instalar los PRs conforme a la tabla 4.7 para cada uno de los sitios.

Para el caso de Los Reyes, la altura de la torre es de 38 metros, y se sugiere una instalación de los PRs a 36 metros de altura, para lograr la mayor cobertura posible.

Cada PR se conecta a una interfaz de puerto de radio de la UCPR, la comunicación se realiza sobre un enlace E1 (2.048 Mbps). Esta interfaz usa dos pares trenzados, uno para la dirección

de transmisión y otro para la dirección de recepción. El PR recibe la alimentación de 80 volts provista por un tercer par.

Como ya se mencionó, los PRs necesitan de tres cables de pares trenzados cada uno, lo cual hace que el número de cables necesarios para la conexión sea muy grande; por esto, con el fin de simplificar la instalación de los PRs, se instala una caja de conexión en la torre (figura 4.22). La caja se conecta por medio de un solo cable que contiene los pares trenzados necesarios para conectar a cada uno de los PRs con la caja de conexión en la UCPR. Para el caso de Los Reyes, la instalación de la caja de conexión se hace sobre una de las patas de la torre a una altura de aproximadamente 35 metros.

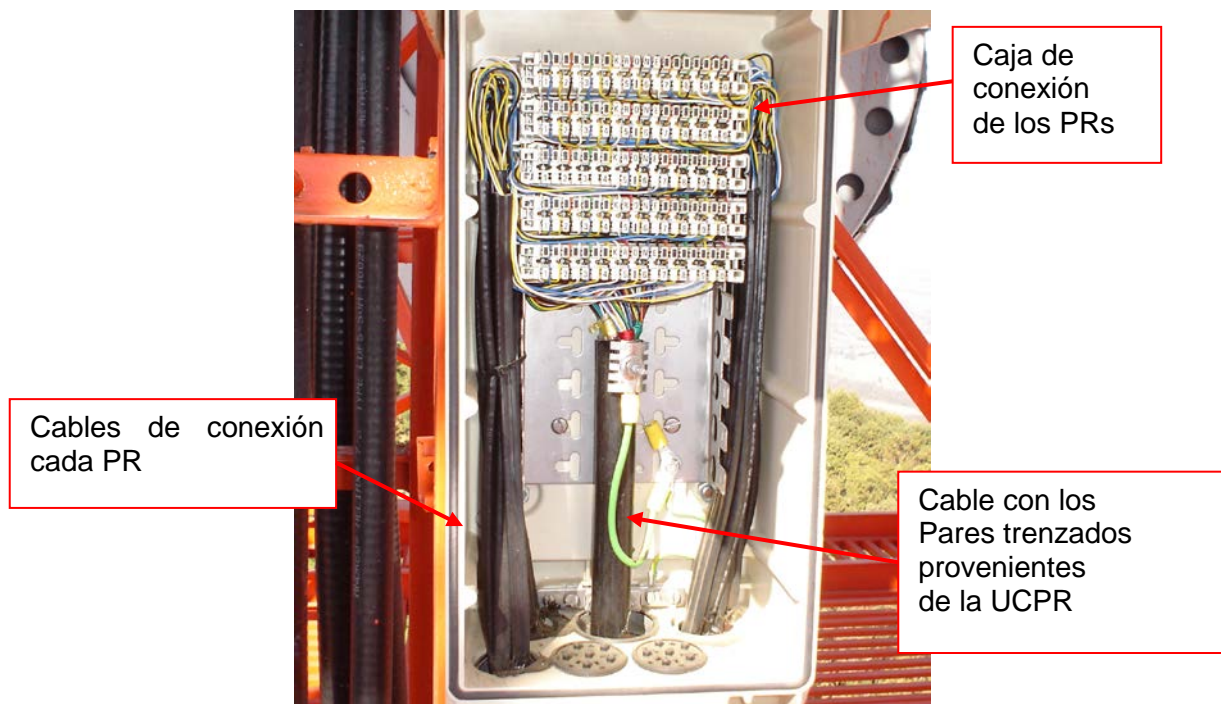


Figura 4.22. Caja de conexión en la torre.

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo III, la instalación de los PRs se realiza sobre soportes H. Para el caso de Los Reyes el número máximo de antenas en un sector es de 3 PRs, por lo que únicamente se requiere un soporte H para cada sector. La orientación de dichos soportes se hará conforme a la orientación magnética por cada sector, según la tabla 4.7.

Como en el sitio de Los Reyes se requiere una cobertura de 360 grados, es indispensable instalar seis soportes H, dispuestos en pares a una misma altura. Cada par de soportes en H se sujeta a la torre por medio de un soporte adicional en T, como se muestra en la figura 4.23. Cada soporte en T está a 120° con respecto a los otros dos soportes.

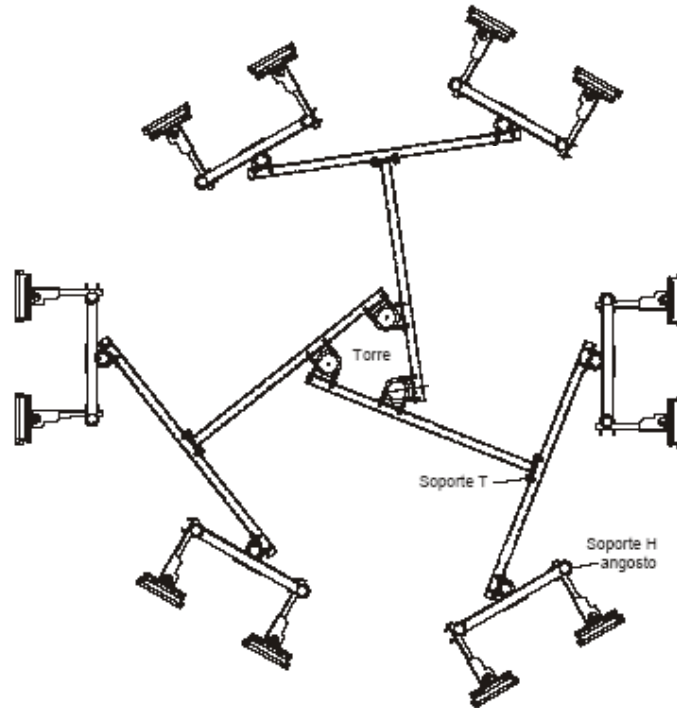


Figura 4.23. Instalación de los PRs para ofrecer cobertura de 360°.

Dependiendo de la necesidad de cada sector, se puede dirigir el haz principal de la antena por debajo de la horizontal, dando a los PRs una inclinación de hasta 18 grados (figura 4.24). Esta inclinación tiene dos aplicaciones principales: cuando se requiere limitar la cobertura o dirigir el haz a usuarios demasiado cercanos y cuando se requiere reducir la energía radiada a las radio bases cercanas, reduciendo así la interferencia entre radio bases.

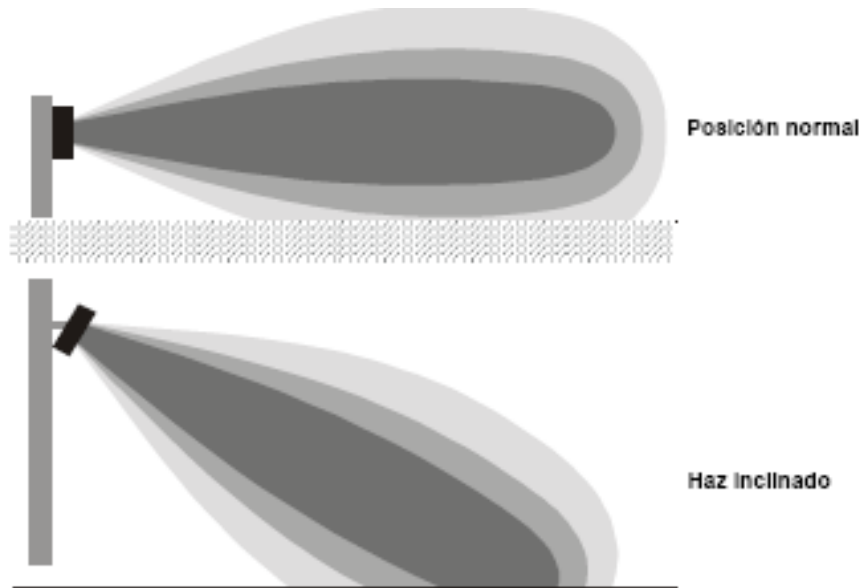


Figura 4.24. Efecto de la inclinación del haz.

En el sitio de Los Reyes la inclinación fue necesaria en los sectores 2, 3 y 4, debido a que se requiere limitar la cobertura de la radio base sólo en la zona conurbana de la Ciudad de Monterrey.

La instalación final de los PRs sobre las estructuras H se observa en las figuras 4.25 y 4.26.

De forma análoga se instalan las restantes radio bases, en todos los casos haciendo referencia a la tabla 4.7.

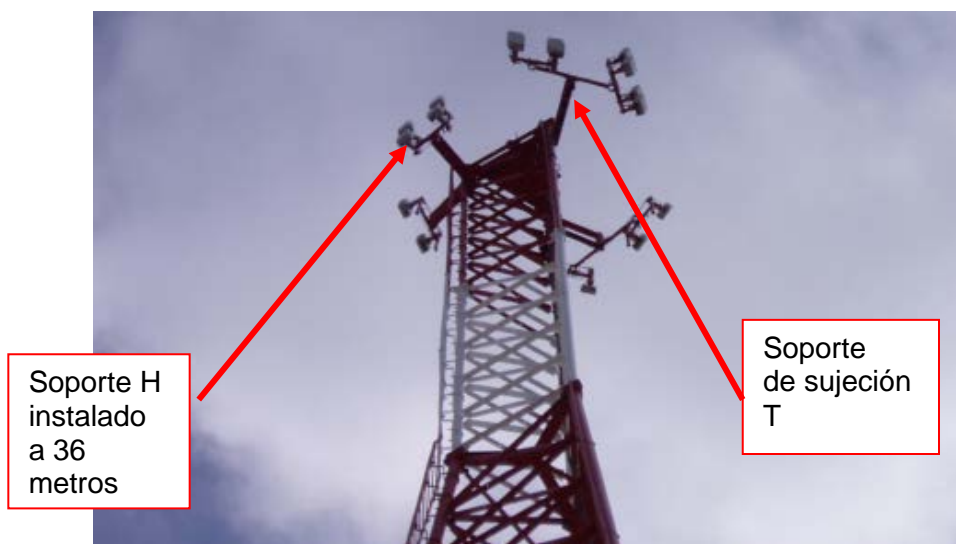


Figura 4.25. Instalación de las antenas en la torre de Los Reyes.

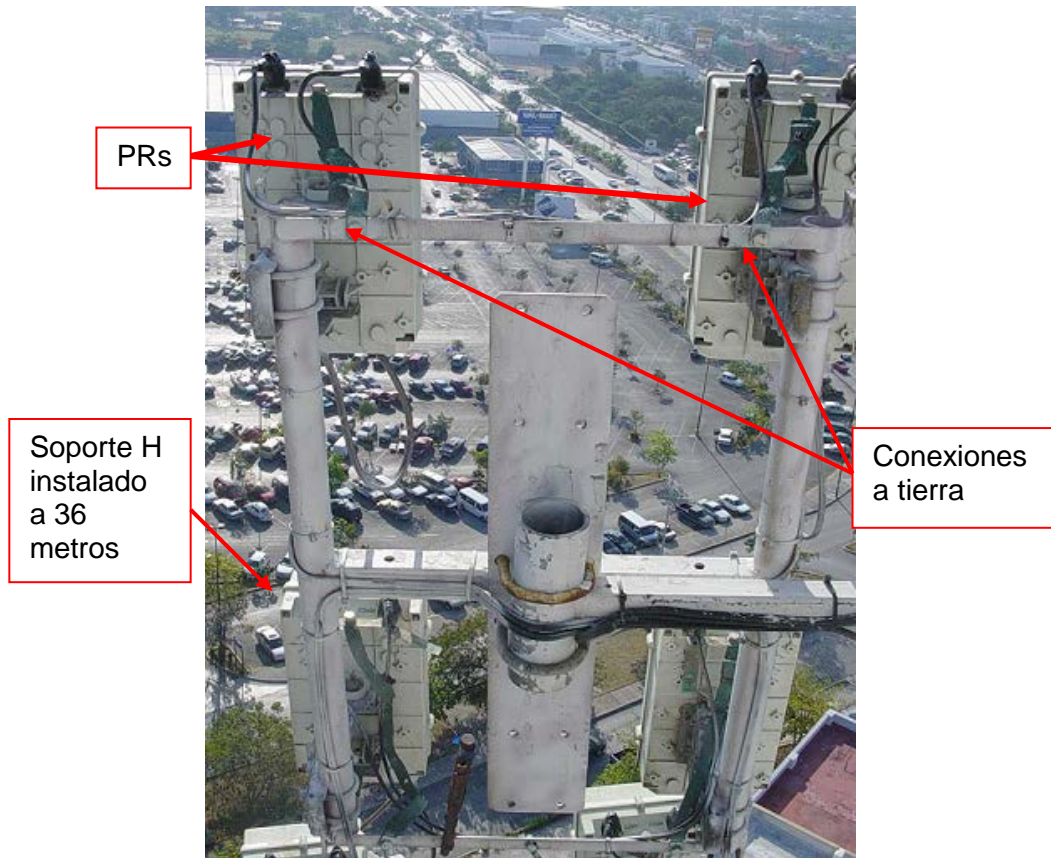


Figura 4.26. Soporte H instalado en la torre de Los Reyes.

4.3. Configuración y pruebas de funcionalidad

Después de haber instalado el hardware del sistema, se necesita poner en funcionamiento todos los elementos del SMG para que operen de manera conjunta. Por lo que se requiere utilizar un sistema de gestión que permita la configuración del SMG con las características específicas de cada radio base.

El Sistema de Gestión (SG) es un programa dedicado a la configuración y supervisión del SMG. A través de este sistema se configura en cada UCPR existente en las radio bases, el número de frecuencias de operación (ver tabla 4.3), el número de PRs por sector, el número de enlaces con la central telefónica y el número de frecuencia con la cual cada PR comenzará a operar, así también, se dan de alta las UFAs que darán servicio a los usuarios.

El SG es un software que es proporcionado por el proveedor. Es un programa que se maneja en ambiente gráficos, lo que lo hace un sistema de fácil manejo. Se instala en computadoras que cumplen con los siguientes requerimientos:

- Pentium 4
- Disco duro de más de 10 Gbytes
- Memoria de 250 Mbytes
- Tarjeta ethernet 10/100 baseT
- Sistema operativo windows 2000
- Service pack 4

El contar con el SG instalado en una computadora portátil, facilita el traslado para la programación de las radio bases y/o supervisión de éstas. Para realizar la configuración de cada UCPR, la terminal se conecta con éste a través de una conexión de red.

La UCPR cuenta con una dirección de red de fábrica con la cual se realiza la interfaz con el SG. Para ello se considera a la UCPR como una estación de trabajo, ya que sólo necesita una IP, máscara de red y puerta de enlace, sin necesidad de configurarle algún dominio o grupo de trabajo. Para realizar el enlace con alguna computadora, ésta debe de tener una IP que sea compatible con la IP de la UCPR, es decir, que se encuentre dentro del mismo rango del tipo de red que maneja la UCPR.

Al considerar a la UCPR como una estación de trabajo, la conexión física con la computadora que contiene al SG se realiza a través de un cable ethernet cruzado. De esta manera se comienza la configuración integral de los elementos del SMG.

Tomando como referencia los datos de equipamiento de la radio base Los Reyes, sabemos, de la tabla 4.7, que ésta tiene una demanda de 950 líneas distribuidas a lo largo de 6 sectores. De acuerdo a dicha tabla, debemos configurar los 15 PRs necesarios para cubrir la demanda de líneas, y como sabemos, hay instalados 2 UCPRs. De este modo con el SG se programará a cada UCPR los requerimientos necesarios. En la figura 4.27 se muestra la distribución del equipamiento para ambas UCPRs.

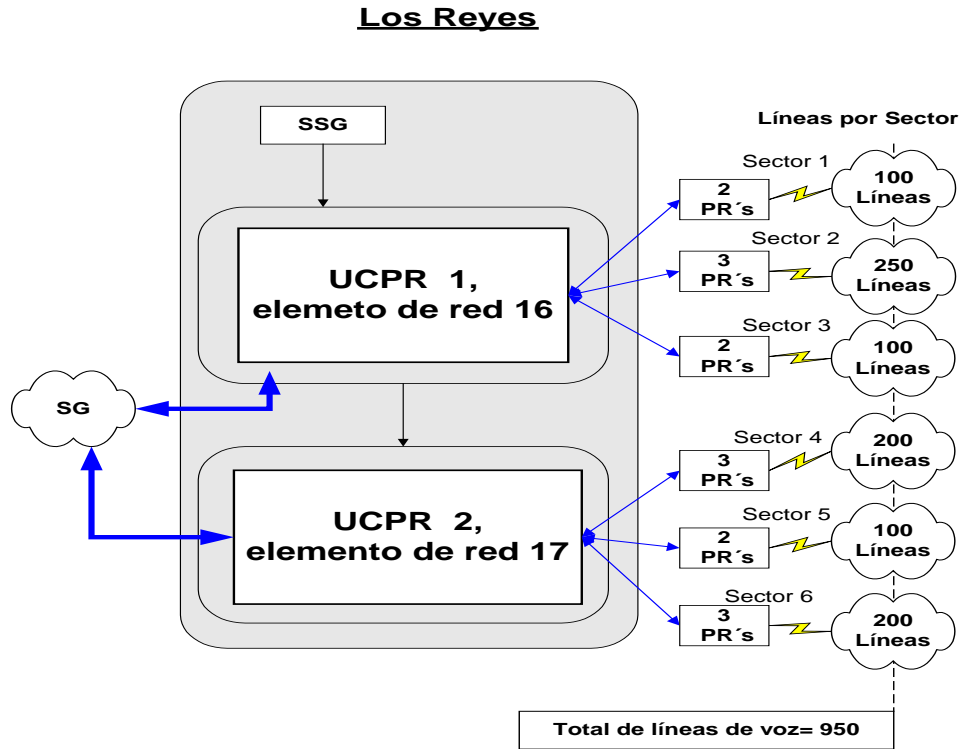


Figura 4.27. Esquema de la programación de la radio base Los Reyes.

La UCPR 1 queda declarada en el SG como el elemento de red número 16, a ésta se le asignarán un total de 7 PRs. Con ayuda del SG, la distribución de PRs quedará establecida por sectores: para el sector 1 se declaran 2 PRs, que brindarán servicio a 100 usuarios; en el sector 2 se declaran 3 PRs, que brindarán servicio a 250 usuarios; finalmente en el sector 3 se declaran 2 PRs, para proporcionar servicio a 100 usuarios. De forma análoga se programa la UCPR 2, la cual proporciona el servicio a las 500 líneas restantes con 8 PRs, distribuidas en los sectores 4, 5 y 6.

Contando con los datos necesarios, se comienza la configuración del SMG. Con la ayuda del sistema de gestión se lleva a cabo la captura de la tabla de frecuencias (ver tabla 4.3) en cada UCPR, así como la asignación del número de fase o frecuencia inicial de cada PR para realizar el salto de frecuencia.

La figura 4.28 muestra la tabla de frecuencias programada en la UCPR. En la parte superior de la figura se muestran las frecuencias en las cuales el SMG puede trabajar, las que se encuentran sombreadas son las frecuencias de operación del SMG. En la parte inferior de la

figura se configuran las frecuencias de operación, que están ordenadas de acuerdo a la tabla 4.3.

The screenshot shows the 'Frequency Sequence Hopping Builder' window. At the top, there are settings: 'OffSet (0.5 MHz)' with a checkbox, 'Frequency Label' set to 'LosReyes', 'Number Of Selected Frequencies' set to '18', 'FDD' with a checkbox, and 'UL/DL Separation' with a dropdown menu. Below these settings is a large grid of frequency values (e.g., 3437, 3448, 3459, etc.). At the bottom, there is a table with columns for frequency values and a sequence of selected frequencies (e.g., 1, 3551, 13, 3557, 25, etc.).

Figura 4.28. Tabla de frecuencias en el SG.

Una vez creada la tabla de frecuencias y tomando como referencia la UCPR 2, elemento 17 de Los Reyes, se configuran los sectores, así como de los PRs que pertenecerán a dichos sectores.

En la figura 4.29 se muestra una de las pantallas del SG a través de la cual se dan de alta los sectores que pertenecen a la UCPR 2.

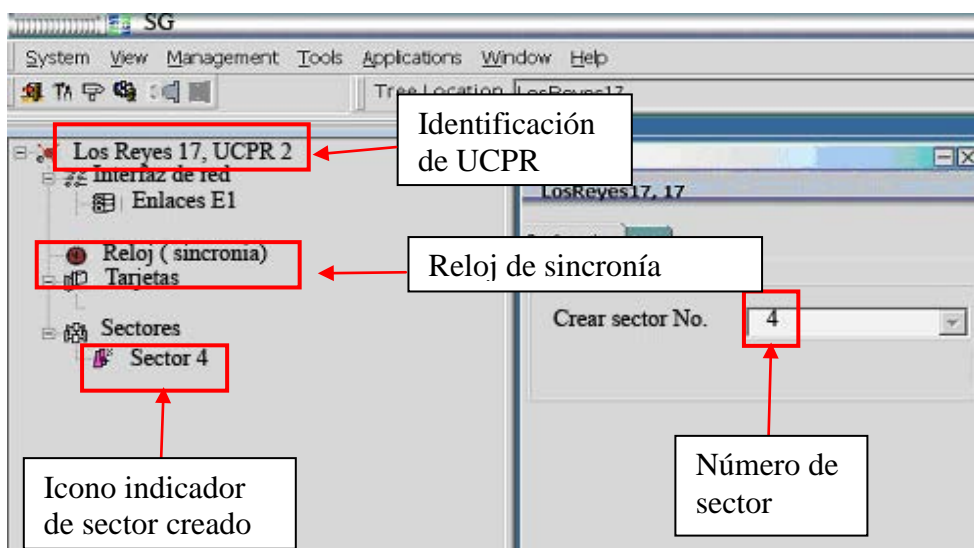


Figura 4.29. Pantalla del SG donde se crean los sectores.

En la pantalla se muestran algunos elementos del SG: el identificador de la UCPR; el reloj de sincronía, que hace enlace con los equipos GSS y la parte de los sectores en donde se dan de alta éstos. Para dar de alta a los sectores, se colocó el cursor del *mouse* en parte que indica "sectores", con el botón derecho del *mouse* se seleccionó esa opción, apareciendo una leyenda indicando "crear". Seleccionada la opción crear, apareció el recuadro que se muestra a la derecha de la figura 4.29; en la pantalla en blanco se escribió el número de sector a crear y se dió "OK". Inmediatamente apareció un icono como se muestra en la parte izquierda de la misma figura, indicando el sector que fue creado.

Siguiendo este mismo proceso se crean los sectores 5 y 6 para la UCPR 2, y los sectores 1, 2 y 3 de la UCPR 1 de la radio base Los Reyes.

Después de haber sido creados los sectores, se crearon los PRs de cada sector. Para crear los PRs se sigue el mismo proceso con el *Mouse*, como al crear los sectores, solamente que se crean al hacer la selección en cada sector, ver figura 4.30.

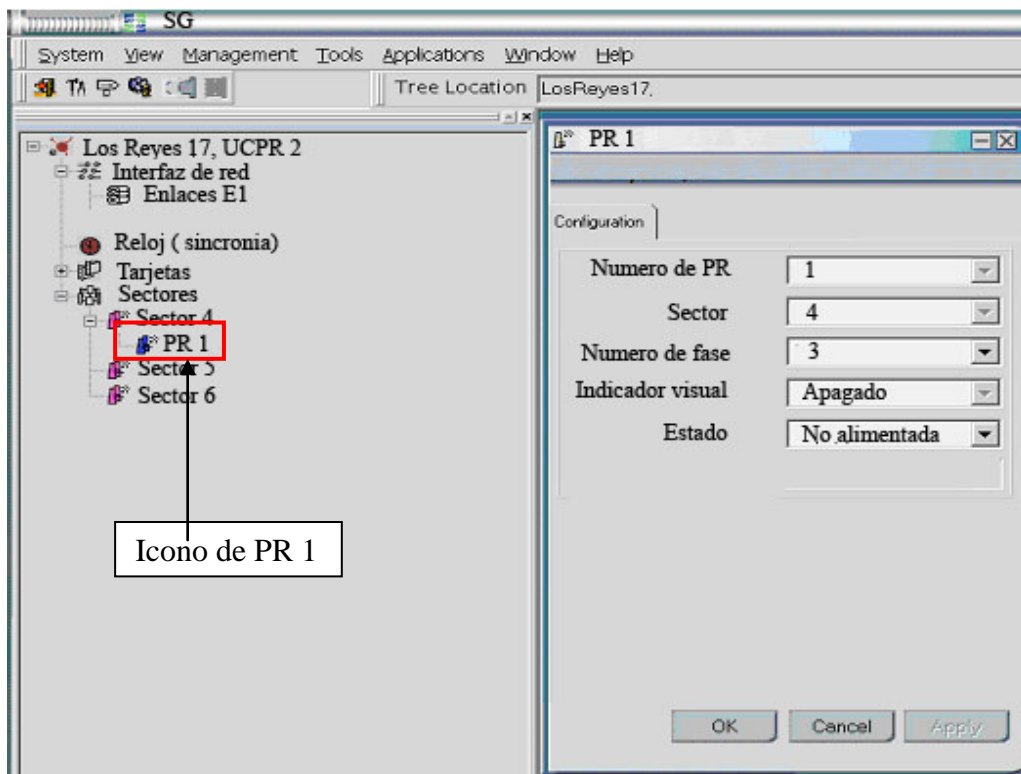


Figura 4.30. Declaración de los PRs dentro del SG.

En el recuadro derecho de la figura 4.30 se muestran los parámetros que requiere un PR: el número de PR, el sector al cual corresponde, el número de frecuencia a la cual comenzará a realizar los saltos, el indicador visual que permite identificar el PR instalado en la torre y el estado que permite alimentar el PR con su voltaje correspondiente.

Después de configurar la radio base en la parte de RF, se configuró en cada UCPR, la conexión con la central telefónica. En la parte de la central telefónica, los enlaces de E1s son programados por el operador de servicio telefónico. Cada UCPR tiene una capacidad de enlace de hasta 250 líneas por cada E1. De esta manera, al realizar la comunicación entre la central telefónica y la UCPR, se procedió a configurar los parámetros requeridos para realizar los enlaces. Para la radio base Los Reyes sabemos que cuenta con 2 UCPRs, por lo que entonces para cada UCPR se tendrán 2 E1s para cubrir la demanda de 950 líneas.

La figura 4.31 muestra la parte de los enlaces E1s que se configuraron en la radio base Los Reyes.

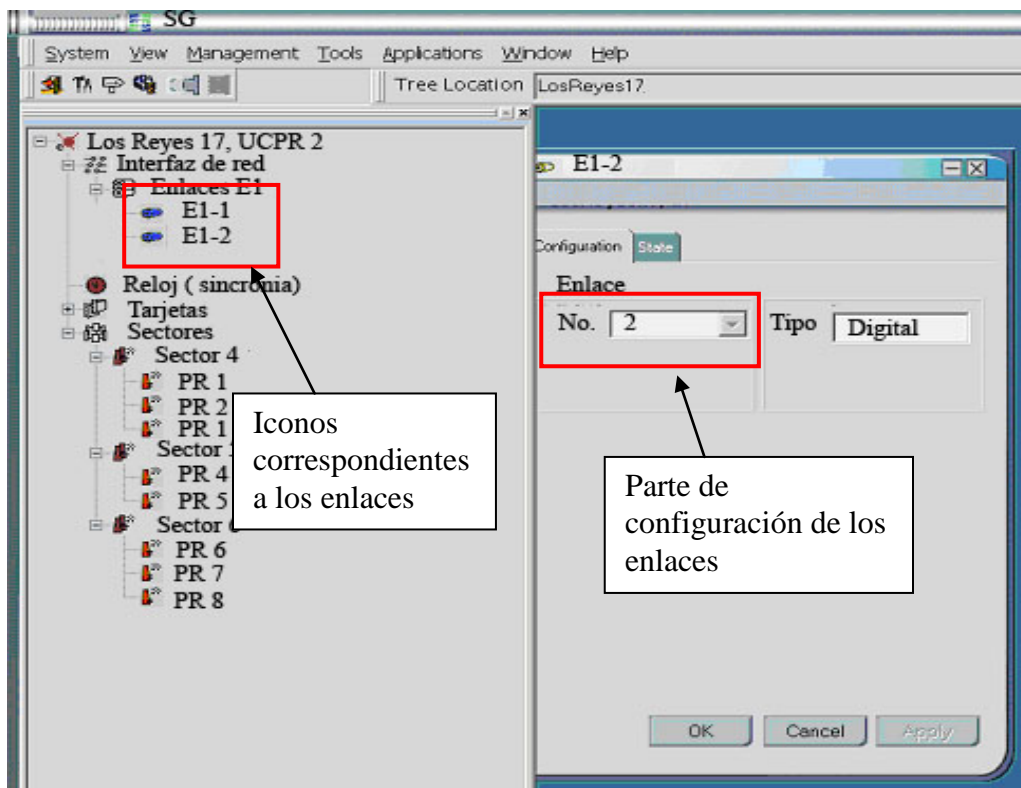


Figura 4.31. Enlaces creados por el SG.

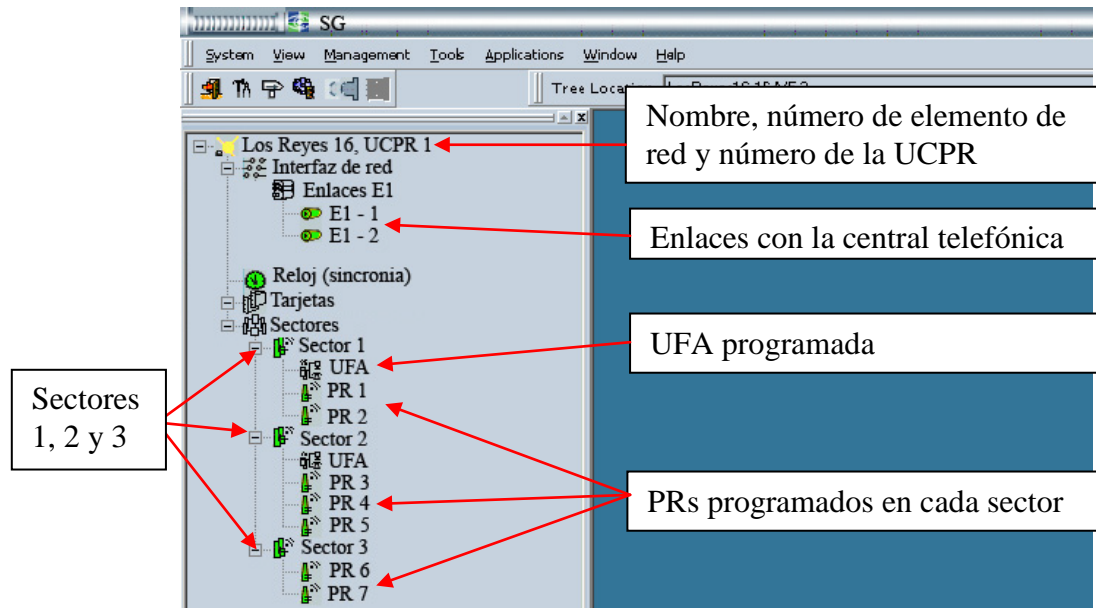
En la parte derecha se configura el número de enlace, así como el tipo de transmisión con la central, en este caso digital.

El operador al programar los 2 E1s para cada UCPR, crea también los números telefónicos que darán servicio a través de su correspondiente UCPR. La línea telefónica además de contar con su número de marcación, cuenta con un número de correspondencia o puerto lógico, el cual ayuda para realizar los enlaces con las UFAs, ver tabla 4.9.

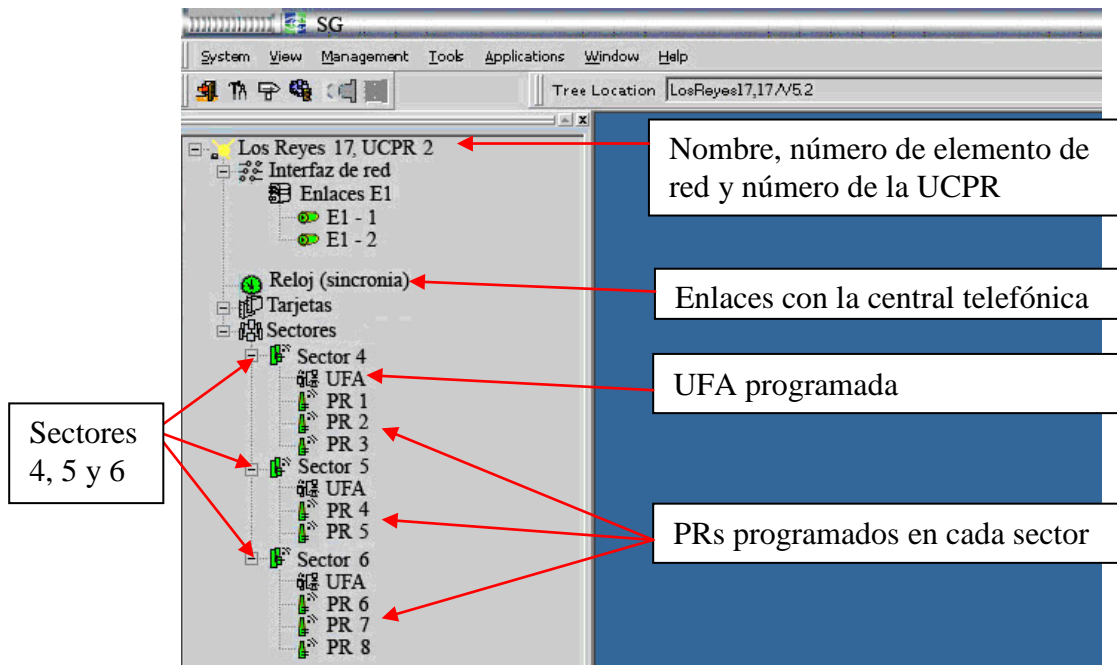
Número de correspondencia o puerto lógico	Número telefónico
1	81820720
2	81820721
3	81820722
4	81820723
.	.
.	.
.	.
246	81820966
247	81820967
248	81820968
249	81820969
250	81820970

Tabla 4.9. Números telefónicos y puertos lógicos.

En la figura 4.32, (a) y (b), se muestra al SG con todos los componentes ya configurados que representan la radio base Los Reyes, especificando cada uno de ellos.



(a)



(b)

Figura 4.32. Configuración de la UCPR de Los Reyes; (a) UCPR 1 y (b) UCPR 2.

Después de haber configurado los elementos que componen a la radio base se realizó una revisión de funcionalidad de cada componente.

4.3.1. Pruebas de funcionalidad

Para el caso de los PRs, se dejaron todas las antenas apagadas, a excepción del PR 1, con el fin de verificar que dicho PR contará con alimentación eléctrica y con comunicación a la UCPR, esto se comprueba observando que el icono que representa el PR cambie de color, de rojo a verde, lo cual significa que el PR se encuentra energizado y con comunicación a la UCPR. Por otra parte, para el mismo PR se verifica también que la ubicación configurada dentro del SG (ubicación por sector) corresponda a la ubicación física del PR, colocado en la torre. Lo anterior se lleva a cabo realizando una inspección visual en la torre, observando el destello de un led colocado en la parte inferior del PR. Este procedimiento se realiza en cada uno de los PRs en el sitio.

Para el caso de Los Reyes al realizar la verificación en la UCPR 1, se encontró que el PR No. 7 ubicado en el sector 3 no correspondía a dicho sector, el PR cuyo led destellaba correspondía al PR No. 1 del sector 4, el cual debería ser controlado por la UCPR No. 2. En este caso se determinó que el cableado del PR No. 7 se encontraba con una trayectoria errónea, por lo que hubo que corregir dicha trayectoria, y de esta manera verificar la correcta correspondencia tanto física como de configuración.

Comprobando que la ubicación de cada PR concuerde con la configuración declarada en el SG y correspondan con los datos de equipamiento que se estimó, lo siguiente es llevar a cabo las pruebas de radiación.

4.3.2. Pruebas de radiación

Con las UCPRs y PRs configuradas y en operación, para la radio base Los Reyes, se realizaron las pruebas de radiación, es decir, las pruebas que determinaron el índice mínimo de señal recibida para cada sector de la radio base.

Para realizar las pruebas de radiación se visitó cada una de las colonias a las cuales se brindará el servicio por parte de la radio base Los Reyes, y de esta manera poder obtener mediciones de radiación con base en el RSS por cada sector de la radio base, para asegurar la comunicación y cobertura entre las mismas.

En las pruebas de radiación se necesitó contar con una terminal de configuración manual (TCM). Este equipo es un pequeño sistema portátil, que permite realizar la conexión y configuración de las UFAs, a su vez, permite obtener los valores de RSS. En la figura 4.33 se muestra una TCM.



Figura 4.33. Terminal de configuración manual.

La configuración de la UFA se lleva a cabo conectando el cable serial DB9 macho de la TCM al DB9 hembra de la UFA, a su vez, ésta debe estar energizada al conectarse a la UCP, de manera que la TCM obtenga información con la cual asegura la comunicación con la UFA.

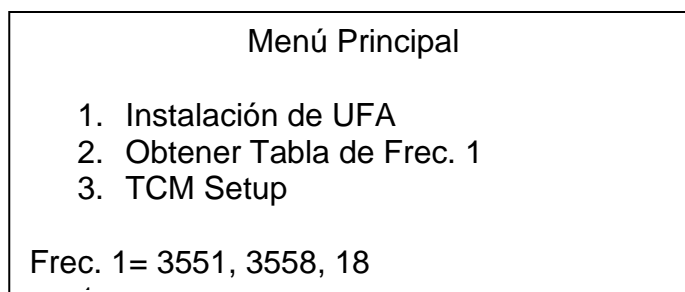
Una vez teniendo comunicación entre la UFA y la TCM, se pueden configurar los parámetros operacionales con los cuales la UFA tendrá comunicación con la radio base, dichos parámetros son:

1. *La tabla de frecuencias.* Ésta debe ser la misma que se encuentra configurada en la radio base asignada a esa zona. La tabla de frecuencias es descargada directamente desde la TCM almacenándose en la UFA, de manera que se comunique con los PRs del sector.

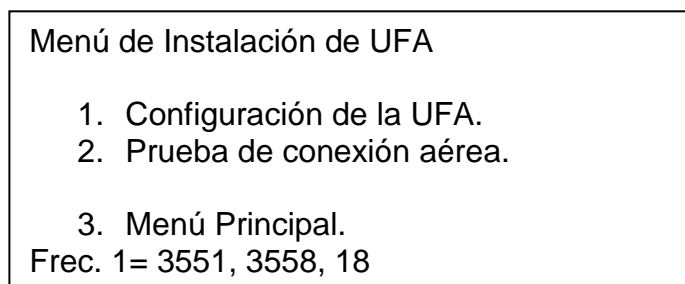
2. *Parámetros de identificación.* Se refiere a los parámetros de identificación con la radio base (área de servicio, zona de servicio y número de UCPR). Esto se realiza teniendo en cuenta los datos de la tabla 4.7, para el sitio de Los Reyes su correspondiente área de servicio es la número 1, la zona de servicio es la número 7 y los correspondientes números de UCPRs asignados a la radio base Los Reyes son los 16 y 17; datos que fueron ingresados desde la TCM a la UFA.
3. *Número de UFA.* A cada UFA se le asigna un número diferente, esto con el fin de identificar a cada una de ellas y relacionarlas con el usuario, a su vez, permite relacionar la UFA con la central telefónica, ya que el número que se asigne a la UFA tendrá correspondencia con el número de puerto lógico que el operador programa en la central (ver tabla 4.9). Para el caso de las pruebas, se le asigna el número 1 a la UFA.

Para llevar acabo la configuración de los parámetros operacionales dentro de la UFA, se debe realizar los siguientes pasos en la TCM.

1. El primer Menu que aparece en el *display* de la TCM es el Menú Principal. Las flechas de la TCM se utilizan para mover el cursor de posición, éste se debe mover a la opción 1 (instalación de UFA) y aceptar.



2. Mover el cursor a la opción 1 (Configuración de la UFA) y aceptar.



3. Mover el cursor el la opción 1 (Parámetros de la UFA) y aceptar.

Menú de Configuración de la UFA

- 1. Parámetros de la UFA
- 2. Envío de tabla de frec. A la UFA
- 3. Reset a la UFA
- 4. Regresar
- 5. Menú Principal

Frec. 1= 3551, 3558, 18

4. Dentro de los parámetros de la UFA, se debe colocar los parámetros operacionales de la radio base Los Reyes.

Menú de Parámetros de la UFA

Número de UFA
0001

Identificación del sitio

AS 1 ZS 007 UCPR 17

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

*

Salvar y regresar
Regresar

Área de Servicio

Número de UFA de prueba

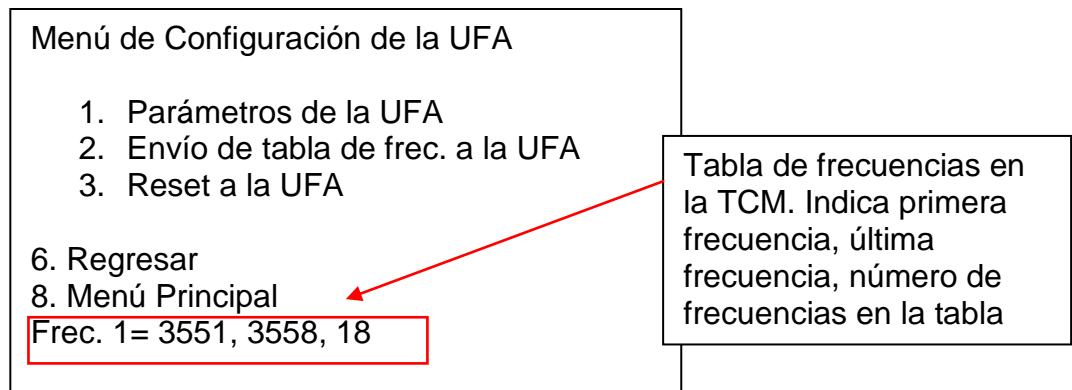
Zona de Servicio

Número de la UCPR correspondiente a los sectores en los cuales se realizaran pruebas

5. Después de colocar los valores correspondientes, se posiciona el cursor en “salvar y regresar” y se acepta, con esto nos regresará al menú de configuración de la UFA. Toda la información se quedará almacenada en la UFA.

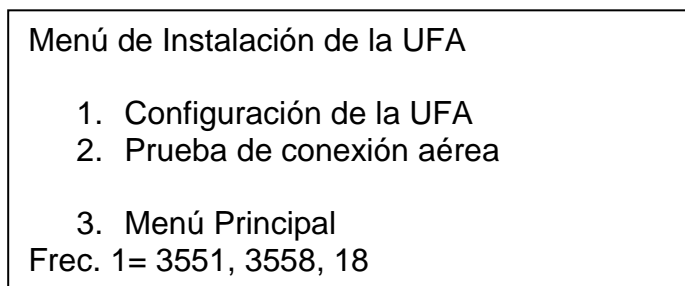
Después de cargar los parámetros operacionales de la radio base Los Reyes, se debe de descargar la tabla de frecuencias a la UFA.

6. Estando en el menú de “Configuración de la UFA”, se posiciona el cursor en la opción 2 (Envío de tabla de frec. a la UFA) y se acepta.



Después de descargar la tabla de frecuencias a la UFA, se posiciona el cursor en la opción 6 (regresar) y se acepta, con esto nos regresará al menú de instalación de la UFA.

7. Estando en el menú de “Instalación de la UFA”, se posiciona el cursor en la opción 2 (prueba de conexión aérea) y se acepta.

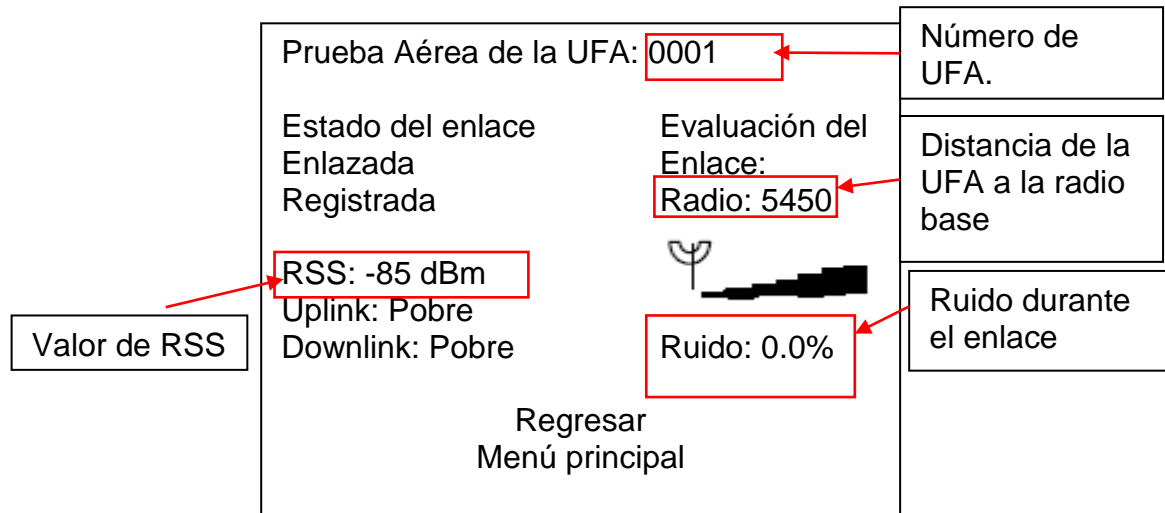


Después de aceptar la opción, la UFA entra en un modo llamado “modo extendido”. En este modo la UFA lleva a cabo un análisis inicial del espectro de acuerdo con sus parámetros operacionales, para identificar los PRs cuyas transmisiones pueden recibirse desde la radio base de Los Reyes.

Después de que completó el análisis de modo extendido, la UFA se conecta al modo de “rango de barrido”. En este modo, la UFA selecciona automáticamente un PR. Con esto, la UFA comienza una sesión corta de comunicación con cada uno de los PRs y selecciona el enlace de

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

mejor calidad, entonces se sincroniza con el PR seleccionado y transmite un mensaje de operación por primera vez a la UCPR. En respuesta, la UFA recibe de los PRs el parámetro de RSS y el nivel de ruido. En el display de la TCM aparecerán los valores de ruido y RSS de la siguiente forma:



Los valores que se despliegan en la TCM, son valores obtenidos en la población Monte Cristal, dicha población, se encuentra a 5.4 km de distancia de la radio base de Los Reyes.

Se colocó la UFA en un tubo de aproximadamente 6 metros de altura, para poder lograr una mejor línea de vista y obtener los valores aceptables de RSS.

De igual manera, se realizaron visitas a cada una de las 14 colonias, y habiendo programado sus respectivos parámetros a las UFAs de prueba, se obtuvieron los niveles de RSS para cada una de las éstas, como se muestra en la tabla 4.10.

	Colonias	Distancia máxima (km)	Valor RSS obtenido (dBm)
1	Real de Cumbres	2.56	-63
2	Monte Cristal	5.40	-85
3	Cerrito	2.69	-64
4	Barrial	4.7	-68
5	Las Jaras	5.87	-70

Tabla 4.10. Niveles de RSS por colonia. (Continúa)

	Colonias	Distancia máxima (km)	Valor RSS obtenido (dBm)
6	El Batro	3.82	-62
7	Jardines de la Silla	4.95	-71
8	Coahuila	3.13	-60
9	Arboledas de San Roque	5.74	-83
10	General Escobedo	4.02	-69
11	Nueva Castilla	5.05	-72
12	Benito Juárez	6.03	-71
13	Xochimilco	3.1	-64
14	Los Rodríguez	3.88	-86

Tabla 4.10. Niveles de RSS por colonia.

Después de obtener los patrones de radiación por colonias con ayuda de la TCM, se realiza una comparación con los patrones de radiación de referencia teóricos, a las diferentes distancias en que se pueden encontrar las colonias de nuestro interés. La tabla 4.11 muestra los valores de RSS teóricos de acuerdo a la distancia.

Referencia de patrones de radiación de RSS		
Distancia	Valor teórico de RSS (dBm)	Valor mínimo de RSS (dBm)
Menor de 2 km	de -38 a -58	≥ -68
De 2 a 4 km	de -58 a -64	≥ -74
De 4 a 8 km	de -64 a -70	≥ -79
De 8 a 16 km	de -70 a -76	≥ -84
Mayor de 16 km	de -76 a -82	≥ -85

Tabla 4.11. Valores teóricos de RSS.

Como se observa en la tabla 4.10, en el Fraccionamiento Monte Cristal se obtuvo un valor de -85 dBm, valor que está fuera del rango teórico de operación; lo anterior se debe a que la zona entre la radio base de Los Reyes y dicho fraccionamiento es una zona boscosa, con árboles de aproximadamente 8 metros de altura, lo que ocasiona que el nivel mínimo de señal recibida exceda los valores esperados. Por lo anterior, en este caso se analizó el número de líneas que deben de ser cubiertas en esta zona, para determinar si es factible dejar fuera de servicio esa área o encontrar una solución para dar servicio a la población.

Se determinó que no se puede dejar fuera de servicio el área de Monte Cristal, ya que el operador necesita brindar servicio a por lo menos 200 usuarios; por lo que la opción más viable es la de aumentar la altura de instalación de las UFAs, por lo menos de 8 metros a nivel del piso, para poder librar la altura de la zona boscosa. En la figura 4.34 se presenta situación descrita anteriormente.



Figura 4.34. Pruebas de radiación de RSS en Monte Cristal.

Casos similares se presentaron en las colonias de Arboledas de San Roque, cubierta por la radio base de Los Reyes, y Los Rodríguez, que tiene cobertura por la radio base del Barrial. El procedimiento que se realizó para estas colonias fue el mismo que en Monte Cristal, colocando las UFAs a la altura necesaria para que exista línea de vista, y se asegure el servicio en dichas colonias.

4.3.3. Puesta en servicio y operación del SMG

Con los resultados de las pruebas de radiación se aseguró la cobertura para cada una de las colonias a las cuales brindan cobertura las 4 radio bases.

La puesta en servicio del SMG se concluye realizando la instalación de las UFAs en cada una de las viviendas de los usuarios.

Instalación de la UFA

Después de que el abonado hace su solicitud de servicio telefónico, el operador proporcionó la ubicación de cada uno de los usuarios a los cuales se les proporcionó el servicio telefónico.

Para realizar la instalación de una UFA, ya estando en el domicilio del cliente, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se colocó la UFA en el mástil de 6 m, asegurándose que no tuviera movimiento alguno.
2. Se energizó la UFA con la UCP para hacer la prueba de recepción.
3. Se conectó la TCM a la UFA, asegurándose que encienda.
4. Se configuró la UFA de acuerdo al número de usuario al que se le brinde el servicio, así también, se configura el área de servicio, zona de servicio y el número de elemento de red asignado.
5. Se levantó el mástil y se orientó la UFA en dirección a los PRs (en dirección a la torre). Después de que la UFA se enlaza con algún PR, se obtiene el valor de RSS y se compara con el obtenido durante pruebas de radiación, para encontrar un valor aceptable de RSS, y señalar la posición donde se instalará el mástil con la UFA.
6. Se desconecta la alimentación de prueba y se conecta la UFA con un nuevo cable de 4 hilos con forro especial para exteriores, que servirá para la instalación final. Dos de los cables sirven de alimentación a la UFA y en los otros dos se recibe el tono de invitación a marcar.
7. Se empotró el mástil en la pared para evitar que la UFA tenga algún movimiento, asegurándose que el cable que está conectado a la UFA no sufra daño. Figura 4.35.



Figura 4.35. Instalación de la UFA.

8. El otro extremo del cable para exteriores, se introduce a la casa por alguna ranura realizada al momento de la instalación.
9. Dentro de la casa se instala la UCP, figura 4.36, tomando en cuenta:
 - i. No debe colocarse en lugares húmedos.
 - ii. Debe ser accesible para el instalador.
 - iii. Que exista un tomacorriente cerca.
10. El extremo del cable que se introdujo a la casa se conecta a la UCP, un par de hilos en la parte de alimentación para la UFA y los otros dos hilos en la parte del servicio telefónico.
11. Se conectó el aparato telefónico a la UCP.

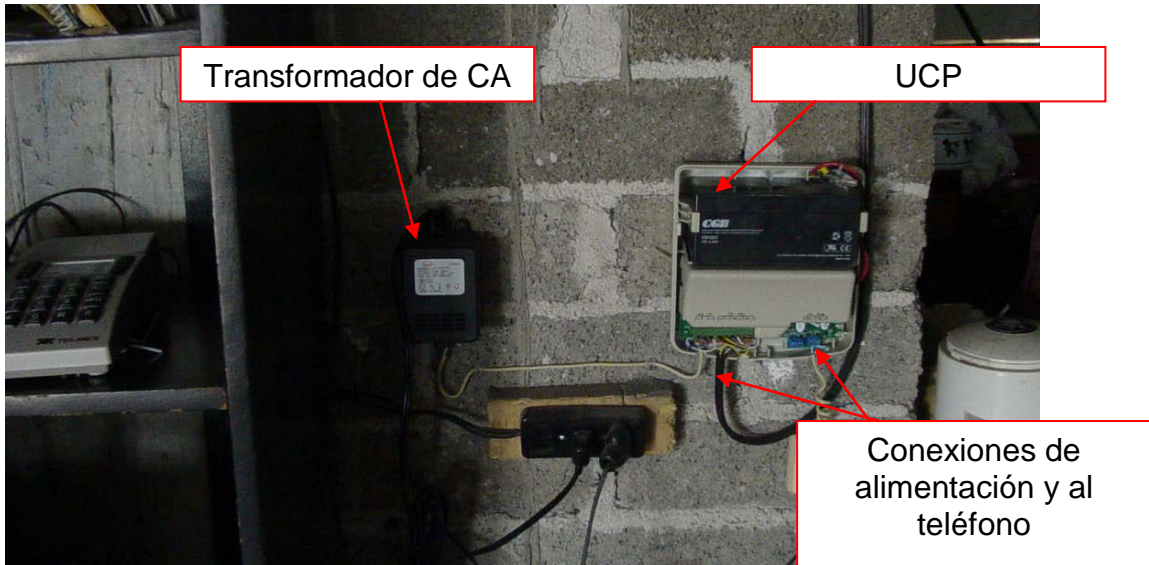


Figura 4.36. Instalación de la UPC.

Al terminar la parte de instalación se debe verificar que la UFA ha comenzado su servicio operacional entrando a modo de seguimiento. En este modo, la UFA sigue las señales emitidas por los PRs en el área de servicio para mantener la sincronización; esto se puede comprobar a través del sistema de gestión, ya que cambia de color de un estado no instalada a un estado instalado, ver figura 4.37.

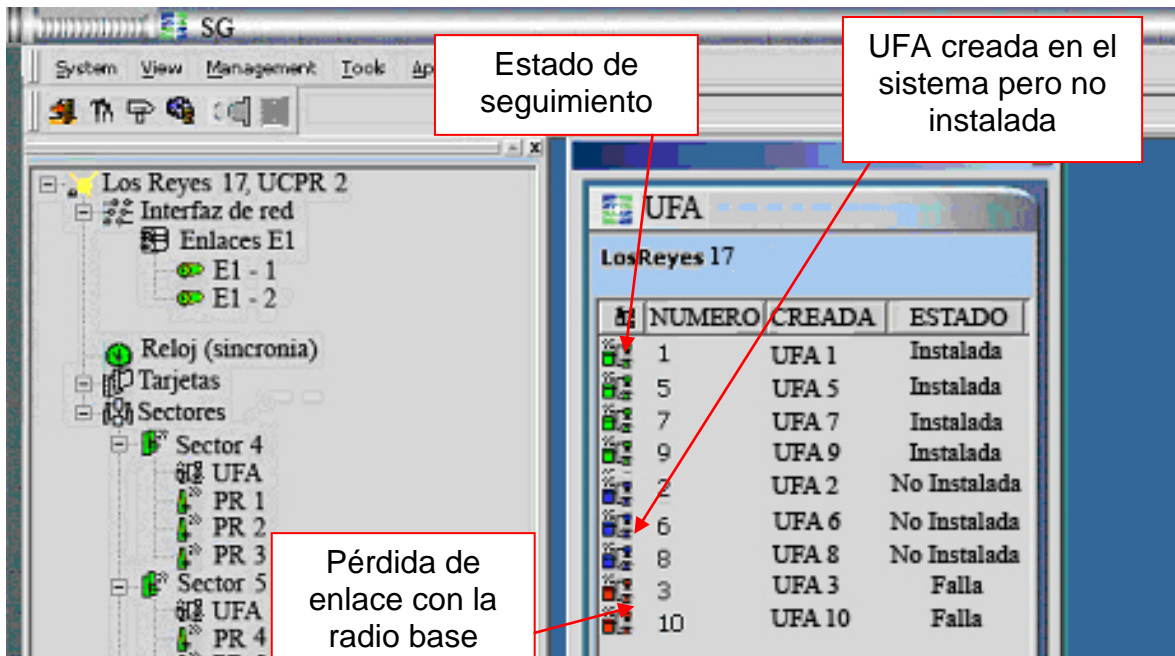


Figura 4.37. Estado de seguimiento de la UFA.

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

En el SG se representan los estados en diferentes colores, siendo azul el estado de no instalada, verde el estado de UFA instalada y en funcionamiento, y rojo el estado de pérdida de comunicación con los PRs.

Una vez establecido el estado de seguimiento, se descuelga el teléfono indicando la intención de hacer una llamada, obligando a la UFA a entrar en el modo activo. En este modo, la UFA solicita al PR que se le asigne una ranura aérea de tiempo libre y aceptará las acciones del abonado solamente después que se ha asignado la ranura de tiempo necesaria, ver figura 4.38. Si no hay ranura de tiempo disponible, el abonado recibe el tono de congestión.

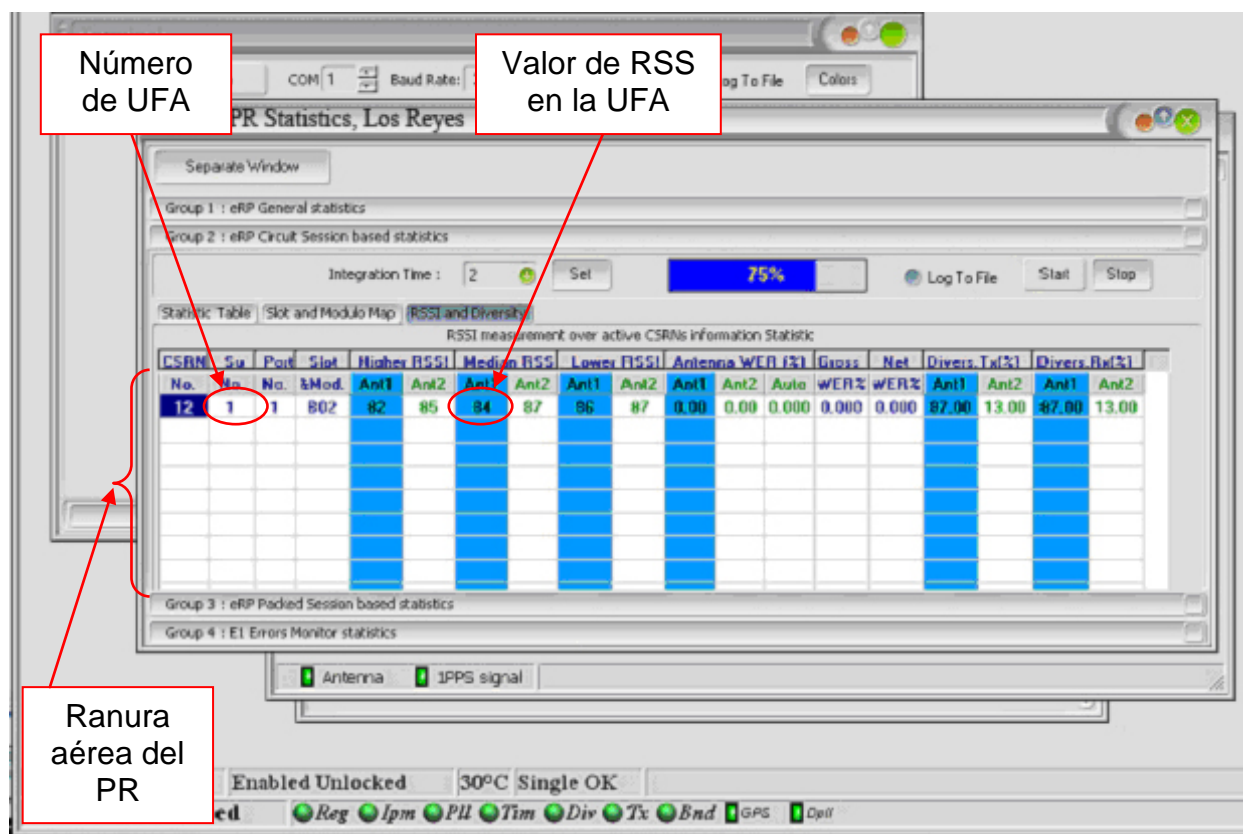


Figura 4.38. Estado activo de la UFA.

En el modo activo, la UFA puede comunicarse a través del enlace RF. Después de terminar el enlace, la UFA permanece en el modo activo aproximadamente 3 milisegundos (este intervalo de tiempo se llama tiempo de arrepentimiento) y entonces regresa al modo de seguimiento.

CAPÍTULO IV. PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN

Al comprobar que ya se asignó una ranura aérea a la UFA el operador habilita el número telefónico que le corresponde a esa UFA.

Se verificó que la UFA recibiera el tono de invitación a marcar, se realizaron llamadas entrantes y salientes, y se probó que los servicios digitales que proporciona el operador desde la central telefónica, tales como: llamada en espera, conferencia entre tres personas, identificador de llamadas, enrutamiento, etc. los realice el SMG sin problemas.

Se siguió el mismo procedimiento para la instalación de cada UFA, tres meses después de la instalación de las radio bases se tiene una instalación de UFAs como se muestra en la tabla 4.12.

Sitios	Sector	Demanda de líneas por sector	Líneas instaladas	Sitios	Sector	Demanda de líneas por sector	Líneas instaladas
Valle Verde	1	0	0	General Escobedo	1	62	20
	2	0	0		2	60	10
	3	0	0		3	63	30
	4	0	0		4	63	10
	5	218	180		5	126	50
	6	282	195		6	126	30
Sitios	Sector	Demanda de líneas por sector	Líneas instaladas	Sitios	Sector	Demanda de líneas por sector	Líneas instaladas
Los Reyes	1	100	20	El Barrial	1	125	19
	2	250	132		2	20	6
	3	100	74		3	112	27
	4	200	190		4	173	30
	5	100	97		5	60	10
	6	200	23		6	95	15

Tabla 4.12. Instalación de UFAs.

Hasta este punto se concluyen los procesos de instalación por parte del proveedor. El operador de servicio telefónico será el encargado de continuar con la instalación de las UFAs restantes.

Finalmente se pueden presentar los resultados obtenidos en cada una de las etapas de ejecución del SMG y determinar a partir de ellos las conclusiones pertinentes.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Resultados

Mediante la implementación del Sistema Multi-Ganancia se logró dar cobertura a la demanda de servicio telefónico en el área conurbana de la Ciudad de Monterrey, logrando con esto cumplir con el objetivo del trabajo de tesis: dar solución a las necesidades de servicio telefónico de la ciudad de Monterrey mediante un sistema de telefonía inalámbrica fija.

Con base en los estudios de campo realizados, se determinó que se necesitaban cuatro radio bases para poder satisfacer la demanda de todo el proyecto.

Durante los estudios de radio interferencia se determinó el ancho de banda en que operaría el sistema; se observó que sólo se podrían usar 18 de los 25 MHz disponibles en el ancho de banda y se calculó la tabla de salto de frecuencias óptima para el sistema.

El SMG fue instalado en las radio bases: El Barrial, General Escobedo, Los Reyes y Valle Verde; con una capacidad de manejar 2,535 líneas telefónicas, de las cuales el 10% se destinaron para ofrecer servicio de datos por MODEM.

Fue necesario realizar pruebas en cada una de las radio bases para corroborar el buen funcionamiento de los equipos, durante esta etapa se encontraron algunos problemas en el cableado de los PRs, mismos que fueron resueltos sin mayores dificultades. De igual forma fue necesario realizar una adecuada programación de los equipos con el sistema de gestión, para evitar traslapes en el salto de frecuencias. El resultado de este proceso es la de dejar todas las radio bases operando adecuadamente.

Podemos concluir que el Sistema Multi-Ganancia de telefonía inalámbrica fija brinda el servicio de forma eficiente para las colonias: Real de Cumbres, Fraccionamiento Monte Cristal, El Cerrito, El Barrial, Las Jaras, El Batro, Jardines de la Silla, Coahuila, Arboledas de San Roque, General Escobedo, Nueva Castilla, Benito Juárez, Xochimilco y Los Rodríguez. Además, se cubrió la expectativa de tiempo de instalación, ya que en promedio cada radio base se instaló en una semana; lo cual de haberse realizado por medio de la tecnología tradicional de alambre de cobre hubiese requerido de varios meses.

Conclusiones

El SMG satisfizo la demanda para las colonias arriba mencionadas, sin que se presentaran mayores problemas de interferencia con otros sistemas que se encuentran operando en la ciudad de Monterrey.

En la instalación de los componentes del sistema se utilizó la infraestructura que el operador del servicio telefónico tenía en dicha ciudad, de este modo se pudo cubrir de forma rápida y a un bajo costo la demanda de comunicaciones.

El SMG tiene una gran versatilidad que permite usarlo en áreas rurales, conurbanas e incluso urbanas, garantizando con ello siempre la cobertura del servicio.

Se requiere que en todos los casos las UFAs se instalen con línea de vista a la radio base, ya que ésta es condición necesaria para el buen funcionamiento del sistema.

A pesar de que el equipo tiene un costo de instalación que podría considerarse alto, su rápida instalación compensa la inversión, pues ofrece una mayor competitividad ante otras tecnologías.

El éxito obtenido con el SMG para cubrir la demanda de servicio telefónico en la ciudad de Monterrey permite establecer que el uso de esta tecnología tiene un futuro prometedor, dada la carencia del servicio telefónico en muchas poblaciones y comunidades del país; carencia que debido al tiempo y el costo que implicaría satisfacerla con la tecnología tradicional, por medio de alambre de cobre, ofrece una gran expectativa para el SMG.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Finalmente podemos concluir que proyectos de este tipo se pueden realizar gracias a la formación académica que brinda la Universidad Nacional Autónoma de México, con materias impartidas a lo largo de la carrera.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Comunicaciones I, Señales, Modulación y Transmisión
Enrique Herrera Pérez
Limusa, 2ª edición
México 2002

Comunicaciones II, Comunicación Digital y Ruido
Enrique Herrera Pérez
Limusa
2ª edición
México 2002

Introducción a Señales y Sistemas
Edward W. Kamen
CECSA
Primera edición
México 1996

Manual de Telecomunicaciones
José M. Huidobro
Alfaomega
México 2004

Manual del Sistema Multi-Ganancia
Alvarion
México 2003

Multi-Carrier, Spread-Spectrum
khaled Fazel, and Gerhard P. Fettweis
Kluwer Academic Publishers
Printed in the Netherlands 1997

Principios de Teoría de las Comunicaciones
Raúl Ibarra Quevedo; Miguel Serrano López
Limusa
México 2001

Sistemas Electrónicos de Comunicaciones
Louis E. Frenzel
Alfaomega
México 2003

Técnico en Telecomunicaciones
Tomo 2
Cultural S.A.

Test Solutions for Digital Networks
Roland Kiefer;
John Nutley traductor.

Bibliografía

Huting
Alemania 1998

Sitios Web:

www.alvarion.com

www.it.uniovi.es/material/telecomunicacion/arss/arss5-conmutacioncir-a

www.radiocomunicacion.com

APÉNDICES

A: TABLAS DE ERLANG B

B: DIAGRAMA DE CONEXIONES

C: HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

APÉNDICE A

TABLAS DE ERLANG B

APÉNDICE A. TABLAS DE ERLANG B

Y: Tráfico por línea: 0.07 Erlang.

P: 1%.

n: es el número de canales.

G.O.S. n	0.001%	0.002%	0.003%	0.005%	1.0%	2.0%	3.0%	5.0%
1	0.001	0.002	0.003	0.005	0.010	0.020	0.031	0.053
2	0.046	0.065	0.081	0.105	0.153	0.223	0.282	0.381
3	0.194	0.249	0.289	0.349	0.455	0.602	0.715	0.899
4	0.439	0.535	0.602	0.701	0.869	1.090	1.260	1.520
5	0.762	0.900	0.994	1.130	1.360	1.660	1.880	2.220
6	1.150	1.330	1.450	1.620	1.910	2.280	2.540	2.960
7	1.580	1.800	1.950	2.160	2.500	2.940	3.250	3.740
8	2.050	2.310	2.480	2.730	3.130	3.630	3.990	4.540
9	2.557	2.855	3.053	3.333	3.783	4.345	4.748	5.370
10	3.092	3.427	3.648	3.961	4.461	5.084	5.529	6.216
11	3.651	4.022	4.266	4.610	5.160	5.842	6.328	7.076
12	4.231	4.637	4.904	5.279	5.876	6.610	7.140	7.950
13	4.831	5.270	5.559	5.960	6.610	7.400	7.970	8.830
14	5.450	5.920	6.230	6.660	7.350	8.200	8.800	9.730
15	6.080	6.580	6.910	7.380	8.110	9.010	9.650	10.630
16	6.720	7.260	7.610	8.100	8.880	9.830	10.510	11.540
17	7.378	7.946	8.316	8.834	9.652	10.656	11.368	12.461
18	8.046	8.644	9.034	9.578	10.437	11.491	12.238	13.385
19	8.724	9.351	9.761	10.331	11.230	12.333	13.115	14.315
20	9.411	10.068	10.496	11.092	12.031	13.180	14.000	15.250
21	10.108	10.793	11.239	11.860	12.840	14.040	14.890	16.190
22	10.810	11.530	11.990	12.630	13.650	14.900	15.780	17.130
23	11.520	12.260	12.750	13.420	14.470	15.760	16.680	18.080
24	12.240	13.010	13.510	14.200	15.300	16.630	17.580	19.030
25	12.969	13.763	14.279	14.997	16.125	17.505	18.483	19.985
26	13.701	14.522	15.054	15.795	16.959	18.383	19.392	20.943
27	14.439	15.285	15.835	16.598	17.797	19.265	20.305	21.904
28	15.182	16.054	16.620	17.406	18.640	20.150	21.220	22.870
29	15.930	16.828	17.410	18.220	19.490	21.040	22.140	23.830
30	16.680	17.610	18.200	19.030	20.340	21.930	23.060	24.800
31	17.440	18.390	19.000	19.850	21.190	22.830	23.990	25.770
32	18.200	19.180	19.800	20.680	22.050	23.720	24.910	26.750

APÉNDICE A. TABLAS DE ERLANG B

G.O.S.	0.001%	0.002%	0.003%	0.005%	1.0%	2.0%	3.0%	5.0%
n								
33	18.872	19.966	20.611	21.505	22.909	24.626	25.844	27.721
34	19.743	20.761	21.421	22.336	23.772	25.529	26.776	28.698
35	20.517	21.559	22.234	23.169	24.638	26.435	27.711	29.677
36	21.296	22.361	23.050	24.006	25.507	27.340	28.650	30.660
37	22.078	23.166	23.870	24.850	26.380	28.250	29.590	31.640
38	22.860	23.970	24.690	25.690	27.250	29.170	30.530	32.620
39	23.650	24.780	25.520	26.530	28.130	30.080	31.470	33.610
40	24.440	25.600	26.350	27.380	29.010	31.000	32.410	34.600
41	25.239	26.416	27.177	28.232	29.888	31.916	33.357	35.584
42	26.037	27.235	28.010	29.085	30.771	32.836	34.305	36.574
43	26.837	28.057	28.846	29.940	31.656	33.758	35.253	37.565
44	27.641	28.882	29.684	30.797	32.543	34.680	36.200	38.560
45	28.447	29.708	30.525	31.660	33.430	35.610	37.160	39.550
46	29.250	30.540	31.370	32.520	34.320	36.530	38.110	40.540
47	30.070	31.370	32.210	33.380	35.210	37.460	39.060	41.540
48	30.880	32.200	33.060	34.250	36.110	38.390	40.020	42.540
49	31.694	33.039	33.908	35.113	37.004	39.323	40.975	43.534
50	32.512	33.876	34.759	35.982	37.901	40.255	41.933	44.533
51	33.332	34.716	35.611	36.852	38.800	41.189	42.892	45.533
52	34.153	35.558	36.466	37.724	39.700	42.120	43.850	46.530
53	34.977	36.401	37.322	38.600	40.600	43.060	44.810	47.530
54	35.800	37.250	38.180	39.470	41.500	44.000	45.780	48.540
55	36.630	38.090	39.040	40.350	42.410	44.940	46.740	49.540
56	37.460	38.940	39.900	41.230	43.310	45.880	47.700	50.540
57	38.291	39.793	40.763	42.109	44.222	46.816	48.669	51.548
58	39.124	40.645	41.628	42.990	45.130	47.758	49.635	52.553
59	39.959	41.498	42.493	43.873	46.039	48.700	50.602	53.559
60	40.795	42.353	43.360	44.757	46.950	49.640	51.570	54.570
61	41.633	43.210	44.229	45.640	47.860	50.590	52.540	55.570
62	42.470	44.070	45.100	46.530	48.770	51.530	53.510	56.580
63	43.310	44.930	45.970	47.420	49.690	52.480	54.480	57.590
64	44.160	45.790	46.840	48.300	50.600	53.430	55.450	58.600
65	45.000	46.650	47.716	49.195	51.518	54.376	56.421	59.609
66	45.845	47.513	48.591	50.086	52.435	55.325	57.394	60.619
67	46.691	48.378	49.467	50.978	53.353	56.275	58.367	61.630
68	47.540	49.243	50.345	51.872	54.272	57.230	59.340	62.640
69	48.389	50.110	51.223	52.770	55.190	58.180	60.320	63.650
70	49.240	50.980	52.100	53.660	56.110	59.130	61.290	64.670
71	50.090	51.850	52.980	54.560	57.030	60.080	62.270	65.680
72	50.940	52.720	53.870	55.460	57.960	61.040	63.240	66.690
73	51.799	53.590	54.748	56.354	58.879	61.990	64.221	67.708
74	52.654	54.463	55.632	57.253	59.803	62.945	65.199	68.723
75	53.511	55.337	56.517	58.153	60.728	63.900	66.177	69.738

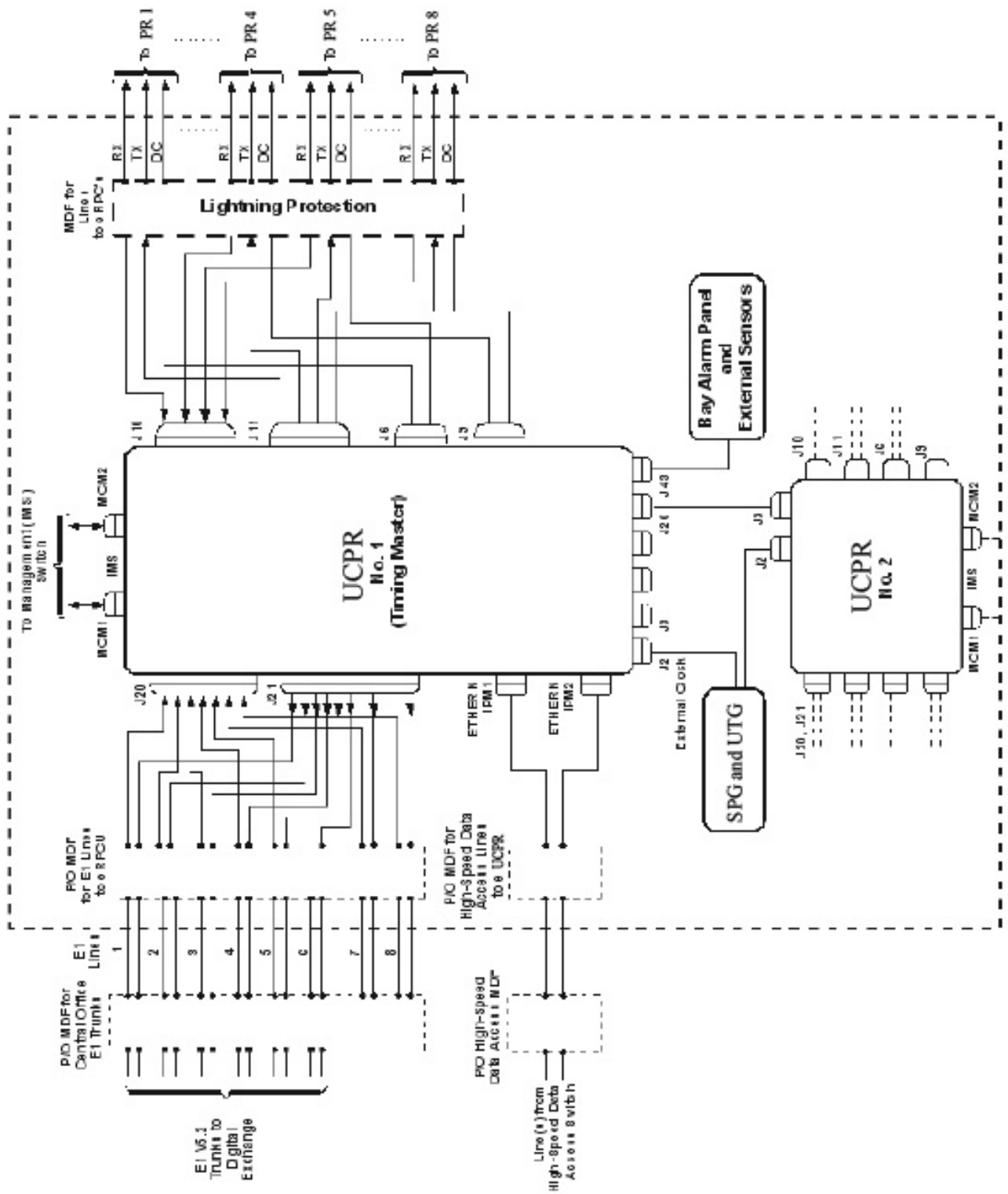
APÉNDICE A. TABLAS DE ERLANG B

G.O.S	0.001%	0.002%	0.003%	0.005%	1.0%	2.0%	3.0%	5.0%
n								
76	54.369	56.211	57.402	59.054	61.653	64.860	67.160	70.750
77	55.227	57.087	58.289	59.960	62.580	65.810	68.140	71.770
78	56.090	57.960	59.180	60.860	63.510	66.770	69.120	72.790
79	56.950	58.840	60.070	61.760	64.430	67.730	70.100	73.800
80	57.810	59.720	60.950	62.670	65.360	68.690	71.080	74.820
81	58.673	60.600	61.845	63.573	66.292	69.647	72.059	75.838
82	59.537	61.480	62.737	64.479	67.222	70.607	73.041	76.856
83	60.402	62.362	63.629	65.386	68.152	71.568	74.024	77.874
84	61.268	63.244	64.522	66.294	69.084	72.530	75.010	78.890
85	62.135	64.127	65.415	67.200	70.020	73.490	75.990	79.910
86	63.000	65.010	66.310	68.110	70.950	74.450	76.970	80.930
87	63.870	65.900	67.210	69.020	71.880	75.420	77.960	81.950
88	64.740	66.780	68.100	69.930	72.810	76.380	78.940	82.970
89	65.612	67.669	68.998	70.843	73.749	77.342	79.929	83.993
90	66.484	68.556	69.896	71.755	74.684	78.306	80.915	85.014
91	67.356	69.444	70.794	72.668	75.620	79.271	81.901	86.035
92	68.229	70.333	71.693	73.581	76.556	80.240	82.890	87.060
93	69.103	71.222	72.593	74.500	77.490	81.200	83.870	88.080
94	69.980	72.110	73.490	75.410	78.430	82.170	84.860	89.100
95	70.850	73.000	74.390	76.320	79.370	83.130	85.850	90.120
96	71.730	73.900	75.300	77.240	80.310	84.100	86.840	91.150
97	72.606	74.788	76.199	78.157	81.245	85.068	87.826	92.169
98	73.484	75.681	77.102	79.074	82.184	86.035	88.815	93.193
99	74.363	76.575	78.006	79.992	83.124	87.003	89.804	94.216
100	75.242	77.469	78.910	80.910	84.064	87.970	90.790	95.240
101	76.122	78.364	79.815	81.830	85.000	88.940	91.780	96.260
102	77.000	79.260	80.720	82.750	85.950	89.910	92.770	97.290
103	77.880	80.160	81.630	83.670	86.890	90.880	93.760	98.310
104	78.770	81.050	82.530	84.590	87.830	91.850	94.760	99.340

APÉNDICE B

DIAGRAMAS DE CONEXIONES

APÉNDICE B. DIAGRAMAS DE CONEXIÓN



APÉNDICE C

HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Características técnicas de la UCPR

Interfaz de la red	
Tipo de interfaz	E1
Velocidad en bits	2.048 Mbps \pm 50 ppm
Tipo de línea	Interfaz de 120 Ω balanceada de acuerdo con la recomendación G.703 de la UIT-T, párrafo 6
Código de línea	HDB3 de acuerdo con la recomendación G.703 de la UIT-T, apéndice A
Estructura del cuadro	De acuerdo con la recomendación G.704 de la UIT-T, párrafo 2.3
Indicaciones de alarma	De acuerdo con la recomendación G.732
Número de interfaces PSTN	6 troncales E1
Protocolo troncal digital	V5.2 troncal múltiple (conexión directa) de acuerdo con ETSI ETS 300-347-1
Interfaz de los PRs	
Tipo de interfaz	E1
Velocidad en bits	2.048 Mbps \pm 50 ppm
Tipo de línea	Interfaz de 120 Ω balanceada de acuerdo con la recomendación G.703 de la UIT-T, párrafo 6
Código de línea	HDB3 de acuerdo con la recomendación G.703 de la UIT-T, apéndice A
Estructura del cuadro	De acuerdo con la recomendación G.704 de la UIT-T, párrafo 2.3
Indicaciones de alarma	De acuerdo con la recomendación G.732
Número de interfaces	Hasta 8

APÉNDICE C. HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Interfaz de alimentación a distancia con el PR

Tensión de alimentación nominal	±80 VCC
Conexión	Un par trenzado
Codificación de voz	<ul style="list-style-type: none">- 64 kbps PCM de acuerdo con la recomendación G.711 – A-legal de la UIT-T- 32 kbps ADPCM de acuerdo con la recomendación G.726 de la UIT-T.

Alimentación a la UCPR

Tensión de alimentación nominal	-48 VCC
Rango de tensión de alimentación	-40.5 a -70 VCC
Consumo de alimentación máximo	280 W

Características físicas de la UCPR

Dimensiones (AxPxP)	400 (9U) × 482,6 × 300 mm
Peso (totalmente equipado)	13 kg

Condiciones ambientales de la UCPR

Temperatura operativa	-5 a +45°C
Humedad relativa operativa	5 a 85%
Almacenamiento y transporte	
Temperatura	-40 a +70°C
Humedad relativa	5 a 85%, sin condensación

Otras características

Protección antifraude	Antifraude, autenticación de la llamada
Servicios especiales	<ul style="list-style-type: none">- Línea arrendada (opción futura)- Detección de fax/módem- Ancho de banda por asignación bajo pedido (característica agregada)- Soporte de datos por módem- Cancelación de eco central (canales de voz)

APÉNDICE C. HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Características técnicas del PR

Interfaz E1 a la UCPR	
Cantidad de Interfaces	Una
Tipo de interfaz de línea	ITU-T Rec. G.703 Par. 6, interfaz balanceada
Tasa de bits de línea básica	2048 kbps \pm 4 ppm
Código de línea	HDB-3
Cuadros	32 timeslots por cuadro o marco, 8 bits por timeslot
Impedancia de línea nominal	120 Ω
Medios de transmisión	Pares trenzados (cable recomendado – CBL E120 120 OHM OUTD.4X2X24# FTP, disponible de Alvarion, P/N 86976804224. consulte características en par. 1.5.3)
Interfaz de aire	
Rango de frecuencias	<ul style="list-style-type: none"> – Banda de 1.5 GHz: 1.428 - 1.525 GHz (ETS 301 179) – Banda de 1.9 GHz: 1.850 - 1.950 GHz (ETS 301 179) – Bandas de 2.4 GHz: 2.400 - 2.499 GHz (versión estándar) <ul style="list-style-type: none"> o 2.401 - 2.479 GHz (versión ETS 300-328) o 2.400 - 2.483 GHz (versión FCC Part 15) – Banda de 3.5 GHz: 3.400 - 3.535 GHz (ETS 301 253) – Banda de 3.57 GHz: 3.425 - 3.575 GHz – Banda de 3.6 GHz: 3.475 - 3.600 GHz – Banda de 3.7 GHz: 3.575 - 3.700 GHz – Banda de 3.8 GHz: 3.600 - 3.728 GHz – Banda de 5.7 GHz: 5.725 - 5.850 GHz
Método de dispersión de espectro	CDMA con salto de frecuencia
Acceso de canal	FH TDMA
Método dúplex	TDD
Cantidad de ranuras TDMA Full Duplex	<ul style="list-style-type: none"> 8 ranuras full-duplex de 64 kbps (codificación de voz PCM) o 16 ranuras full-duplex de 32 kbps (codificación de voz ADPCM)

APÉNDICE C. HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Cantidad de frecuencias de salto	80 máximo
Espaciamiento de canales	1 MHz
Tasa de bits nominal	2048 kbps
Tiempo de permanencia (velocidad de salto)	2 ms (500 saltos/seg.)
Técnicas de diversidad	Diversidad espacial por antena
Método de modulación	$\pi/4$ DQPSK
Ancho de banda de RF -20 dB	1 MHz

Potencia de transmisión en RF

Potencia de salida típica en RF	<ul style="list-style-type: none"> - 1.5 GHz: +25 dBm +3/-2.5 dB - 1.9 GHz: +25 dBm +3/-2.5 dB - 2.4 GHz: +24 dBm +3/-2.5 dB (versión estándar) - 2.4 GHz: +7 dBm ± 2 dB (ETS 300 328) - 2.4 GHz: +23 dBm ± 3 dB (FCC Parte 15) - 3.5 – 3.8 GHz: +25 dBm +2/-2.5 dB - 5.7 GHz: +24 dBm ± 2 dB
---------------------------------	---

Características de la antena incorporada

Tipo de antena	Conjunto de placa planar sobre plano de tierra
Impedancia	50 Ω
ROE (SWR)	Max. 1.4:1 (min. pérdida de retorno 15 dB)
Polarización	Vertical lineal
Protección contra rayos	Puesta a tierra de CC de los elementos radiantes

Desempeño de la antena (típico)

Banda de frecuencia (MHz)	Ganancia (dBi)	Ancho del haz en azimut (-3 dB)	Ancho del haz en elevación (-3 dB)	Relación frente/atrás (dB) (Consulte Nota)
1428 a 1525	11	60°	30°	25
1850 a 1950	11	62°	28°	25
2400 a 2500	11.5	63°	22°	25
3400 a 3800	13.5	60°	16°	25
5725 a 5850	14	60°	12°	22

NOTA

Para las antenas incorporadas, la relación frente/atrás se define respecto a todo el sector posterior de 180° de la antena.

Características del receptor

Sensibilidad típica	<ul style="list-style-type: none"> -92 dBm a WER=10⁻² (BER=10⁻⁴) -90 dBm a WER=10⁻⁴ (BER=10⁻⁶)
Subsistema del receptor	Dos receptores con conmutación de diversidad