

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



PROTOCOLO DE PRUEBA Y MEDICIÓN PARA EL SISTEMA DE
COMUNICACIÓN VÍA MICROONDA DEL INDE

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDUARDO MOISÉS OLA GONZÁLEZ
AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

Guatemala, mayo de 1999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

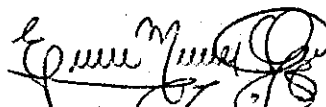
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

Protocolo de prueba y medición para el sistema de comunicación
vía microonda del INDE,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería
Mecánica Eléctrica,

con fecha 30 de octubre de 1,996

No. EIME.314.96


Eduardo Moisés Ola González

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1o.	ING. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ RIVERA
VOCAL 2o.	ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ
VOCAL 3o.	ING. JORGE BENJAMÍN GUTIÉRREZ QUINTANA
VOCAL 4o.	BR. DIMAS ALFREDO CARRANZA BARRERA
VOCAL 5o.	BR. JOSÉ ENRIQUE LÓPEZ BARRIOS
SECRETARIA	INGA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
EXANIMADOR	ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO
EXAMINADOR	ING. EDGAR FLORENCIO MONTÚFAR URIZAR
EXAMINADOR	ING. EDWIN ALBERTO SOLARES MARTÍNEZ
SECRETARIA	INGA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

Guatemala, Octubre 5 de 1,998.

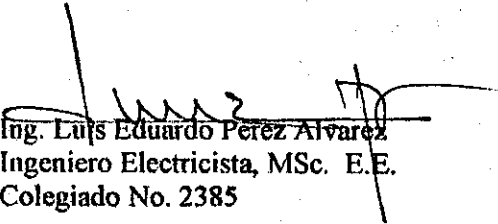
Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del Area de Ingenieria Electronica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Solares:

Por este medio hago de su conocimiento que despues de hacer las revisiones y modificaciones respectivas, apruebo el trabajo de tesis titulado **"Protocolo de Prueba y Medicion para el Sistema de Comunicación via Microonda del INDE"** , realizado por el estudiante de Ingenieria Electronica **Eduardo Moises Ola Gonzalez** carnet No. 92-12926.

Por tanto el autor de esta tesis y yo como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y las conclusiones de la misma.

Atentamente,



Ing. Luis Eduardo Perez Alvarez
Ingeniero Electricista, MSc. E.E.
Colegiado No. 2385

cc. archivo

Guatemala, 5 de octubre de 1,998.

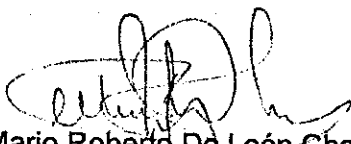
Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador de Area Ingeniería Electrónica
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente.

Estimado Ing. Solares:

Por este medio apruebo el trabajo de tesis titulado **Protocolo de prueba y medición para el sistema de comunicación vía microonda del INDE** realizado por el estudiante de ingeniería electrónica **Eduardo Moisés Ola González** carnet No. 92-12926.

Por tanto, el autor de esta tesis y yo, como su asesor nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,


Mario Roberto De León Chavez
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 28 de octubre de 1,998

Señor Director
Ing. Roberto Urdiales Contreras
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.


Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: Protocolo de prueba y medición para el sistema de comunicación vía microonda del INDE, realizado por el señor Eduardo Moisés Ola González, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Área Electrónica

JCSP/sdem.

cc. Archivo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Eduardo Moisés Ola González, titulado: Protocolo de prueba y medición para el sistema de comunicación vía microonda del INDE, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras
Director

Guatemala, 12 de febrero de 1,999.

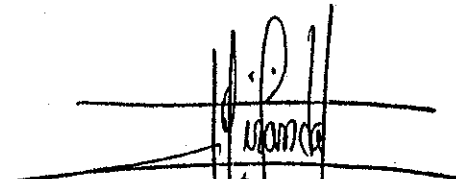




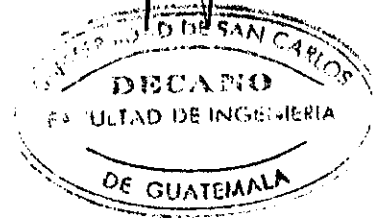
FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Protocolo de prueba y medición para el sistema de comunicación vía microonda del INDE, del estudiante Eduardo Moisés Ola González, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
Decano

Guatemala, 23 de abril de 1999



AGRADECIMIENTOS

A Dios

No alcanzarían las palabras para expresar las innumerables razones para darle las gracias.

A mis padres

Por todos sus esfuerzos para darme la mejor de las herencias: su ejemplo y una profesión.

A mis hermanos

Por su apoyo y comprensión.

Al Ing. Mario Roberto De León y al Ing. Luis Eduardo Pérez

Por su colaboración en la realización del presente trabajo de tesis.

A mi pastor Franz Galli

Por sus sabios consejos.

A mis hermanos y amigos de la iglesia, muy especialmente al grupo de mimos

Por sus oraciones y porque siempre me alentaron para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros de las empresas Informática S.A., TTI S.A. y SSI S.A.

Por su amistad y colaboración cada día de trabajo.

DEDICATORIA

a Aquel a quien debo la vida y
que ha estado siempre a mi lado,
Al mejor de los amigos,

A Jesús

A los mejores padres del mundo,
porque con su ejemplo de esfuerzo y dedicación
me han enseñado el camino que debo seguir,

A mis padres
Eduardo Ola y Lucrecia de Ola

A mis hermanos:
Lucrecia Edith,
Ana Lucía,
Angel Fernando y
Pablo Roberto

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	X
INTRODUCCIÓN	XVI
1. EL SISTEMA PCM	1
1.1. Introducción	1
1.2. Elementos de la técnica PCM	3
1.2.1. Muestreo	4
1.2.2. Cuantización	7
1.2.3. Reglas de codificación	9
1.3. Conceptos de multiplexación	11
1.4. Jerarquías PCM	12
1.5. Multiplexación de primer orden	13
1.6. PCM de orden superior	17
1.7. Justificación negativa y positiva	22
2. TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES	27
2.1. Proceso de transmisión	27
2.1.1. Ecuación	27
2.1.2. Conversión de forma de onda	28
2.1.3. Interface de múltiples trenes de datos asíncronos	28
2.1.4. Código piloto o código de paridad	29

2.1.5. Conversión "m" a "n"	29
2.1.6. "Scrambling"	30
2.2. Interface de banda base	31
2.2.1. Tipos de señal en banda base	31
2.2.2. Código PST (Paired Selected Ternary)	32
2.2.3. Código tipo Dicode	34
2.2.4. Código AMI	34
2.2.5. Código HDB3 (High Density Bipolar 3)	35
2.2.6. Código B3ZS (Bipolar with 3 Zero Substitution)	35
2.3. Comunicaciones digitales	36
2.4. Sistema de radio digital	38
2.4.1. Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)	38
2.4.2. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)	41
2.4.3. Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)	42
2.4.4. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)	44
2.4.5. Eficiencia del ancho de banda	48
2.4.6. Comparación entre técnicas de modulación	48
2.5. Transmisión en la banda de microondas	49
2.5.1. Guía de onda	49
2.5.1.1. Guía de onda rectangular	51
2.5.1.2. Guía de onda circular	54
2.5.1.3. Guía de onda acanalada	55
2.5.1.4. Guía de onda flexible	56
2.5.2. Antenas	60
2.5.2.1. Patrón de radiación	62
2.5.2.2. Ganancia directiva y ganancia de potencia	64

2.5.2.3. Resistencia de radiación	65
2.5.2.4. Ancho del haz de la antena	68
2.5.2.5. Ancho de banda de la antena	68
2.5.2.6. Polarización	68
2.5.3. Trayectorias de propagación de las ondas	73
2.5.4. Sistemas de protección	78
2.5.4.1. Diversidad	78
2.5.5. Esquemas de protección típicos	79
2.5.5.1. Protección Hot-Standby	79
2.5.5.2. Diversidad de frecuencia	81
2.5.5.3. Diversidad de espacio	83
2.5.5.4. Diversidad de polarización	84
3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	
ACTUAL	87
3.1. Introducción	87
3.2. Descripción y características principales de la red de microonda	88
3.3. Estación Guatemala Este	91
3.4. Estación Ahuachapán	95
3.5. Estación Guatemala Sur	96
3.6. Estación Soledad Grande	98
3.7. Estación Volcán de Agua	100

4.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PUNTO A MULTIPUNTO	103
4.1.	Introducción	103
4.2.	Descripción del equipo a instalar	105
4.3.	Tipos de estaciones disponibles	113
4.4.	Teoría de funcionamiento	114
4.4.1.	Conceptos, funcionamiento, estructura de trama	114
4.4.2.	Dirección saliente	118
4.4.3.	Dirección entrante	119
4.4.4.	Sistemas con repetidores	121
4.4.5.	Transreceptores	125
4.4.5.1.	Transreceptores salientes	125
4.4.5.2.	Transreceptores entrantes	126
4.4.6.	Dirección de transmisión	127
4.4.7.	Dirección de recepción (receptor saliente)	129
4.4.8.	Dirección de recepción (receptor entrante)	130
4.5.	Descripción de la topología de red	134
5.	PROTOCOLOS DE PRUEBA Y MEDICIÓN	139
5.1.	Introducción	139
5.2.	Mantenimiento preventivo	140
5.2.1.	Mantenimiento del banco de baterías	141
5.2.2.	Mantenimiento de la línea de transmisión de RF	146
5.2.3.	Monitoreo de los parámetros de los radios	147
5.2.4.	Medición del BER	148
5.2.5.	Análisis de trama	154
5.2.6.	Monitoreo de la calidad de transmisión	155

5.3. Mantenimiento correctivo	159
5.3.1. Loop de multiplexor de primer orden	161
5.3.2. Loop de multiplexor de segundo orden	163
5.3.3. Loop de multiplexor de tercer orden	165
5.3.4. Medición de frecuencia en oscilador de microondas	167
5.3.5. Medición de la potencia de salida	172
5.3.6. Análisis de espectro de la señal de salida	173
5.4. Descripción de un protocolo de pruebas	177
CONCLUSIONES	193
RECOMENDACIONES	195
BIBLIOGRAFÍA	197
APÉNDICE	199

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Elementos de la técnica PCM	4
2	Señal analógica muestreada	5
3	Espectro de la señal muestreada	7
4	Ley de codificación A	11
5	Estructura de la trama PCM 30	16
6	Multiplexación de orden superior	19
7	Inserción de datos de control	21
8	Relación de fase entre reloj de escritura y reloj de lectura	22
9	Estructura de trama para justificación positiva y negativa	23
10	Proceso de desjustificación	26
11	Ejemplos de señales bipolares	33
12	Sistemas de comunicación digital	37
13	Transmisor de FSK binario	40
14	Diagrama vectorial de modulación por PSK	45
15	Modulación ASK	46
16	Representación de la constelación de un sistema 16 QASK	47

17	Vista transversal de una guía de onda rectangular	53
18	Propagación en una guía rectangular	57
19	Guía de onda circular con junta de rotación	58
20	Guía de onda acanalada	58
21	Guía de onda flexible	59
22	Radiación de una línea de transmisión	61
23	Patrones de radiación	67
24	Haz principal y lóbulos de una antena para microondas	71
25	Geometría de una parábola	72
26	Trayectorias de propagación	74
27	Repetidor de microondas	75
28	Tipos de repetidores de microondas	77
29	Esquema de protección Hot-Standby	80
30	Sistema de microondas con diversidad de frecuencia	82
31	Sistema de microondas con diversidad de espacio	85
32	Red de microonda	89
33	Estación Guatemala Este	91
34	Estación Ahuachapán	94
35	Estación Guatemala Sur	96
36	Estación Soledad Grande	98
37	Flujos de información en la red	99
38	Estación Volcán de Agua	100
39	Sistema SR500-s. Configuraciones	104
40	Sistema SR500-s. Características y capacidades	113
41	Trama saliente y transmisión	121
42	Estructura de trama saliente	121

43	Trama entrante y transmisión	122
44	Estructura de trama entrante	122
45	Extensión del enlace utilizando repetidores	122
46	Transceptor saliente con sintetizador de frecuencia	130
47	Transceptor entrante con sintetizador de frecuencia	131
48	Red de microonda digital punto-multipunto	134
49	Detección de pulso erróneo	145
50	Medición de BER	149
51	Medición utilizando dos instrumentos K4303	152
52	Monitoreo en servicio	152
53	Análisis de la calidad de transmisión	154
54	Loop de multiplexor de primer orden	158
55	Loop de multiplexor de segundo orden	160
56	Loop de multiplexor de tercer orden	162
57	Medición de frecuencia para el oscilador de microondas	167
58	Medición del nivel de potencia de salida	172
59	Monitoreo del espectro de la señal de salida	172

TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Comparación entre técnicas de modulación	49
II	Relación entre la tensión de una batería y su estado de carga	140
III	Relación entre gravedad específica de una batería y su estado de carga	141

GLOSARIO

Amplitud	Es el valor máximo que registra una forma de onda analógica o digital.
Ancho de banda	Diferencia existente entre las frecuencias superior e inferior disponibles en una señal.
ATDM	(Asynchronous Time-Division Multiplexing). Es un método para envío información en el cual se emplea la multiplexación por división en el tiempo (TDM) con la variante de que cada ranura de tiempo es asignada bajo demanda en lugar de que esté asignada a un transmisor específico.
Atenuación	Pérdida de energía que presenta una señal de comunicaciones.
Banda base	Característica de una tecnología de red en la que se utiliza una sola frecuencia portadora.

Baudio	Unidad de medida para expresar la velocidad de transmisión. Representa el número de condiciones discretas o eventos de señal por segundo.
Binario	Sistema de numeración que se caracteriza por la utilización de los números 0 y 1.
Bit	Dígito binario. Unidad usada en el sistema de numeración binario. Puede ser 0 ó 1.
Byte	Término genérico usado para referirse a una serie de dígitos binarios consecutivos que se operan como una unidad completa. Por ejemplo, un byte puede estar compuesto por 8 bits.
CCITT	(Consultative Committee for International Telegraph and Telephone). Organización internacional que crea estándares de comunicaciones tal como la recomendación X.25.
Delay	Tiempo transcurrido entre el inicio de una transmisión enviada desde un punto transmisor y la primera respuesta recibida en el mismo punto. También representa el tiempo requerido para mover un paquete de información desde una fuente hasta un destino a través de una trayectoria determinada.

Demodulación	Proceso de retornar una señal modulada a su forma original.
DTMF	(Dual Tone MultiFrecuency). Uso simultáneo de dos tonos en la banda de voz con propósitos de marcación.
E1	Término usado para referirse a un canal de comunicación estándar con capacidad de transportar información a una velocidad de 2,048 Kbps.
E&M	Señalización estándar empleada en circuitos troncales generalmente de 4 hilos.
EMI	(Electromagnetic interference). Interferencia producida por señales electromagnéticas y que puede producir reducción en la integridad de los datos así como un incremento en la tasa de errores en los canales de transmisión.
Ecualización	Técnica utilizada para compensar la distorsión producida en los canales de comunicación.

Full-duplex	Capacidad de un canal que le permite soportar comunicación simultánea en ambas direcciones (transmisión y recepción).
Half-duplex	Capacidad de un canal que le permite soportar comunicación en una sola dirección a la vez (transmisión o recepción).
IEEE	(Institute of Electrical and Electronic Engineers). Organización profesional que define estándares de red tales como las normas para redes LAN, WAN, entre otras.
Interferencia	Ruido no deseado el cual se presenta en los canales de comunicación.
Jitter	Distorsión provocada por una variación en el tiempo de una señal desde su posición de referencia.
Ley A	Estándar de la CCITT para compansión empleada en la conversión entre señales analógicas y digitales en un sistema PCM. La ley A se emplea principalmente en las redes telefónicas de Europa.

Ley mu	Estándar similar a la Ley A. Éste se emplea principalmente en redes telefónicas de Norte América.
Microondas	Ondas electromagnéticas que se encuentran en el rango de 1 a 30 gigahertz (GHz).
Modem	(modulador-demodulador). Dispositivo que convierte señales digitales a una forma adecuada para la transmisión sobre líneas de comunicación analógicas.
PAM	(Pulse Amplitude Modulation). Esquema de modulación en el cual una señal moduladora analógica modifica la amplitud de un tren de pulsos discretos.
Repetidor	Dispositivo que regenera y propaga señales eléctricas entre dos segmentos de una red.
RF	(Radio Frequency). Término empleado para referirse a frecuencias que corresponden a transmisiones de radio.
TDM	(Time División Multiplexing). Multiplexación por división en el tiempo. Técnica en la que la

información proveniente de varios canales puede ser acomodada en un solo canal de comunicación.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de tesis titulado *Protocolo de prueba y medición para el sistema de comunicación vía microonda del INDE* se describe brevemente descripción de los tópicos fundamentales que son necesarios para poder comprender la forma en la cual operan los sistemas de comunicación por microonda digital. En el primer capítulo se introduce a los conceptos relacionados con el sistema PCM, que es una técnica para la conversión de múltiples señales analógicas en un tren de datos con características especiales y bien definidas. En el segundo capítulo se introduce al lector a los conceptos fundamentales de modulación, transmisión y propagación de las señales a través del espacio.

Como puede verse, los dos primeros capítulos constituyen el marco teórico, sin el cual no sería posible entender los tópicos que son abordados en los capítulos restantes.

Es importante hacer notar que en estos tiempos en los cuales el campo de las telecomunicaciones ha tenido un desarrollo acelerado y en los que éstas se constituyen en parte fundamental e indispensable de las sociedades desarrolladas y en vías de desarrollo, todo estudiante de ingeniería debe contar al menos con conocimientos elementales de

telecomunicaciones. Para el caso de los estudiantes de ingeniería electrónica esta situación es aún más clara cuando en su ejercicio profesional se encuentran con el hecho de que tienen que instalar, reparar o incluso diseñar sistemas de comunicación.

En este trabajo de tesis se describen dos tipos de sistemas de comunicación; esto es: el sistema punto-punto y el sistema punto-multipunto. Se presentan las características principales que, aún cuando se hace referencia a equipos específicos (NERA y SR500-s), permiten al lector familiarizarse con los términos técnicos, definiciones y especificaciones de los equipos de microonda digital.

En el capítulo 3 se describe el sistema punto-punto instalado para dar servicio al INDE, mientras que en el capítulo 4 se presentan las características principales del sistema punto-multipunto que será instalado para reemplazar el sistema punto-punto existente.

El capítulo 5 presenta algunos procedimientos útiles para realizar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo de sistemas de comunicación por microonda digital. Es importante hacer notar que algunos de estos procedimientos han sido estructurados tomando como referencia el sistema punto-punto que en la actualidad está en operación. Sin embargo, estos procedimientos son generales y pueden ser aplicables a cualquier sistema de microonda digital con características similares.

1. EL SISTEMA PCM

1.1. Introducción

El sistema PCM (Pulse Code Modulation → modulación por pulsos codificados) es un sistema de codificación que permite la conversión de señales analógicas en señales digitales antes de su transmisión. La información digital resultante se expresa solamente en dos niveles de voltaje, los cuales representan los niveles lógicos 0 y 1. Esto permite una fácil regeneración y recuperación de la información aún en presencia de niveles relativamente altos de ruido en el canal de comunicación.

El PCM fue inventado en 1,937 por el inglés A.H. Reeves en los laboratorios de la Compañía Internacional de Telefonía y Telegrafía (ITT) en Francia. Reeves, propuso una técnica, la cual involucraba el muestreo de una señal a intervalos de tiempo regulares y la codificación del valor de amplitud medido en una secuencia de pulsos digitales. En el receptor, los números binarios son usados para reconstruir la señal analógica original.

El PCM depende de tres operaciones separadas que son: muestreo, cuantización y codificación. De estas tres operaciones se tratará más adelante a medida que se avance en el contenido de esta tesis.

En los Estados Unidos, por parte de los Laboratorios Bell fueron creados diversos sistemas experimentales basados en bulbos codificadores. Estos prototipos resultaron ser voluminosos y demasiado caros para su producción comercial. La disponibilidad de los económicos transistores, inventados a fines de la década de los 40's y desarrollados durante la década de los 50's, cambió considerablemente el costo de los codificadores PCM y los multiplexores TDM. Como resultado, en 1,962 comenzó la producción a gran escala de los sistemas de transmisión Bell de jerarquía T1. Con la aparición de los circuitos integrados (IC's) se aseguró un lugar firme para los equipos digitales dentro de las redes telefónicas.

El sistema PCM presenta las siguientes características:

1. Calidad de transmisión:
 - a) Posibilidad de implementar repetición regenerativa y transmisión a larga distancia de alta calidad.
 - b) Inmunidad frente a interferencia.
2. Economía: equipo terminal barato en comparación al usado en sistemas de multiplexación por división en frecuencia (FDM).

3. Confiabilidad: alta confiabilidad que suprime la necesidad de servicio de mantenimiento frecuente y periódico necesario para sistemas analógicos.
4. Facilidad de formación de interface:
 - a) la posibilidad de procesar pulsos es la misma sin importar el tipo de señal origen, esto es: voz, televisión, datos, etc.
 - b) flexibilidad en la interface de conexión: facilidad de extraer e insertar información binaria dentro del tren de datos original (proceso denominado "drop-insert").

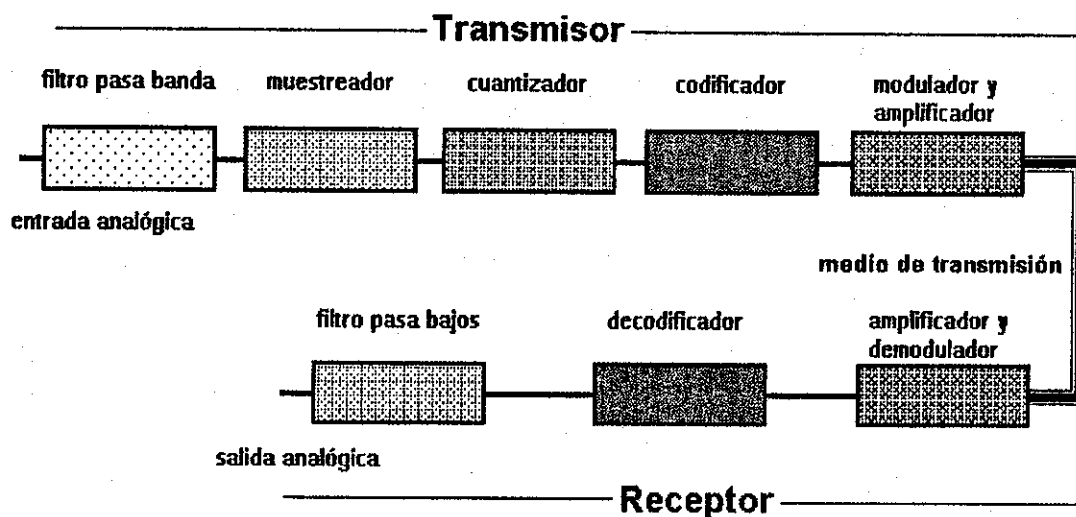
Debido a las características tan especiales que presenta, el sistema PCM es el adoptado por la gran mayoría de sistemas de radio enlace línea vista en el mundo.

1.2. Elementos de la técnica PCM

Teniendo en cuenta el deterioro que una señal sufre debido al empleo de la técnica PCM, es necesario analizar los elementos involucrados en este proceso. Primeramente, la señal analógica se limita en su banda de frecuencias utilizando un filtro pasa banda con un rango que va desde los 300 a los 3,400 hertz. Seguidamente, la señal se muestrea para generar un tren de impulsos con amplitud modulada (señal PAM). Estas amplitudes son cuantificadas y convertidas en señales digitales mediante un codificador y, posteriormente, son transmitidas a través de un canal adecuado para esta transmisión digital. En el receptor, la señal digital es decodificada

y las amplitudes cuantificadas se regeneran para reconstruir una aproximación de la señal original. La señal reconstruida se filtra para "suavizar" su forma de onda, removiendo las armónicas, con el fin de obtener una representación lo más fiel que sea posible de la señal original. En la figura 1 pueden verse todos estos elementos.

Figura 1. Elementos de la técnica PCM.

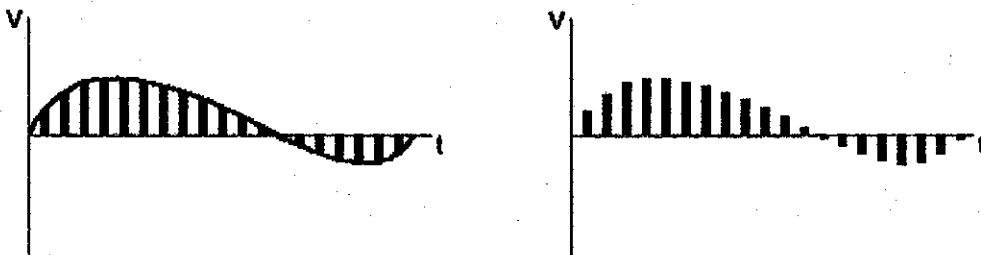


1.2.1. Muestreo

La teoría del muestreo dice que si una forma de onda posee un espectro de frecuencias limitado a un rango finito, no es necesario conocer sus valores a cada instante con el fin de describirla

completamente. La razón de lo anterior es que, dado que el espectro de la señal se encuentra limitado, la velocidad a la que la amplitud de la señal puede variar también está limitada. De lo anterior, si el intervalo de tiempo existente entre muestreos sucesivos es lo suficientemente pequeño, entonces la señal análoga original puede ser descrita completamente por una serie de funciones discontinuas. En otras palabras, el teorema de Nyquist expresa que: "si una función continua $f(t)$ no contiene componentes espectrales con frecuencias mayores a f_s hertz entonces, la función puede ser representada por los valores de su amplitud muestreados a intervalos no mayores a $1/(2f_s)$ segundos". En la figura 2 se muestra gráficamente la relación entre una función continua y las muestras de esa señal.

figura 2. Señal analógica muestreada

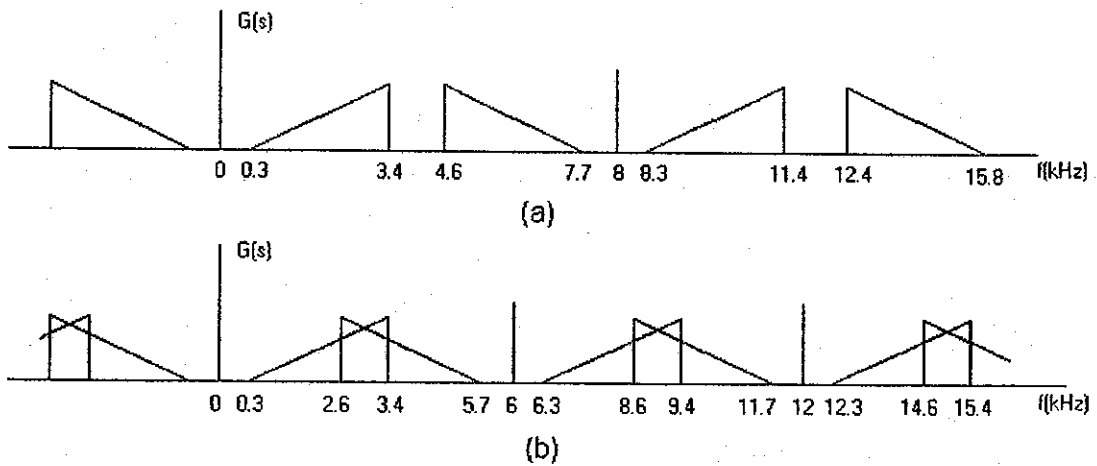


Puede verse que después del muestreo, la señal ya no es continua, pero aún es analógica, donde cada muestra representa la magnitud de la señal original en cada instante de muestreo. A este proceso de muestreo se le conoce también como modulación por amplitud de pulsos (Pulse Amplitude Modulation, PAM).

Si se analiza el espectro en el dominio de la frecuencia de la señal muestreada, se encuentra que el espectro de la señal original aparece reproducido con ambas bandas centradas al rededor de frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia de muestreo (f_s). Esto se muestra en la parte *a* de la figura 3. En la figura 3 se muestra, en la parte *b*, el caso en el que la frecuencia de muestreo no cumple con lo establecido por el teorema de Nyquist. Se aprecia un traslape en los espectros adyacentes, lo que ocasiona una perdida irreparable de información.

En el caso de los sistemas telefónicos, las señales de voz se limitan a una banda de frecuencias comprendida entre 300 y 3,400 Hz. Esta banda se determinó en base a estudios que demostraron que en ese rango se encuentra la mayoría de información disponible en una señal normal de voz, y además, porque permite la utilización eficiente de las líneas de transmisión existentes. La frecuencia de muestreo que se utiliza en los sistemas de telefonía digital es de 8,000Hz. Al ser un poco mayor al valor requerido por Nyquist, esta frecuencia de muestreo permite el empleo de filtros más sencillos y baratos que no necesitan tener una característica de corte abrupta, con el fin de recuperar eficientemente la señal muestreada.

figura 3. Espectro de la señal muestreada. (a) $f_s = 8.0$ kHz. (b) $f_s = 6.0$ kHz.



1.2.2. Cuantización

En virtud de que las muestras de amplitud de la señal original van a ser representadas por números binarios, es necesario establecer la cantidad de valores que podrán ser descritos. Esto significa que se establecerán ciertos límites entre los cuales la señal será representada por un solo número binario asignado por el codificador. Por ejemplo, si se tiene un intervalo cuyos límites sean 1.0 y 1.5, y al punto medio de este intervalo se le asigna un cierto número binario, entonces a todos los valores de la señal muestreada que caigan entre esos límites se les asigna el mismo número binario. A cada intervalo se le denomina *paso de cuantificación* y a los límites de cada paso se les llama *valores de decisión*. El número de pasos de decisión está determinado por el número de bits que forman la palabra digital con la que ha de representarse cada valor de amplitud.

En la práctica, en los sistemas PCM se utilizan 8 bits, lo que genera 256 posibles valores para la señal muestreada.

Al asignar a un conjunto de valores de la señal muestreada un mismo valor digital, es claro que, como consecuencia, se presentará cierto error. A este error se le conoce como *error de cuantización*. El valor máximo de este error es la mitad de un paso de cuantización. Volviendo al ejemplo anterior, si los límites del intervalo son 1.0 y 1.5, el valor medio del intervalo es 1.25 entonces, si una señal está por encima de 1.25 se le asigna el valor digital correspondiente a 1.5. el peor de los casos se presenta cuando la señal valga exactamente 1.25, y al asignársele el valor digital de 1.5 se tendrá el error de cuantización máximo; en este caso es igual a 0.25.

Es necesario hacer notar que siempre existirá un cierto valor al cual se le asigne el valor binario máximo; a este se le denomina *capacidad de carga del decodificador*. Aquí se nota la necesidad de limitar la amplitud máxima de la señal a codificar, pues si la señal excede a la capacidad de carga del codificador, entonces el error de cuantificación no se limitará a la mitad de un intervalo de cuantificación sino podría ser aún mayor.

Tal como se mencionó anteriormente, se cuenta con 256 niveles de decisión derivados del empleo de palabras de 8 dígitos binarios en los sistemas PCM usados actualmente. Estos niveles están organizados en 128 niveles positivos y 128 niveles negativos.

No es difícil imaginarse que para valores pequeños de la señal, el error relativo será mayor que para los niveles altos. Por ejemplo, si la señal tiene un valor de 0.8 y el codificador le asigna un valor de 1.0, el error será de un 20%. En cambio, si la señal tiene un valor de 9.8 y el codificador le asigna un valor de 10.0, entonces el error será del 2%. Para compensar lo anterior y disminuir el efecto del ruido de cuantización de tal manera que sea lineal a lo largo de todo el rango de valores es que en la práctica se emplean las llamadas reglas de codificación.

1.2.3. Reglas de codificación

Actualmente existen dos reglas para la codificación de señales PCM que son: la *ley μ* y la *ley A*, que son reglas no lineales. Al método de utilizar leyes de codificación no lineales se le denomina *compansión*. El término se deriva del nombre de los dos procesos llevados a cabo tanto en la transmisión como en la recepción de la señal. En el transmisor se comprime la señal y en el receptor se expande, de manera que el efecto neto sobre la señal es lineal.

El sistema T1 original de los laboratorios Bell utilizaba un compansor con una función continua como ley de codificación con la siguiente ecuación matemática:

$$y = \log(1 + \mu x) / (\log(1 + \mu)), \text{ donde } \mu = 100$$

posteriormente, la CCITT recomendó una ley de codificación similar a la anterior pero con un valor de $\mu = 255$.

En los sistemas de telefonía empleados actualmente se utiliza la ley de codificación A, cuya expresión matemática es la siguiente:

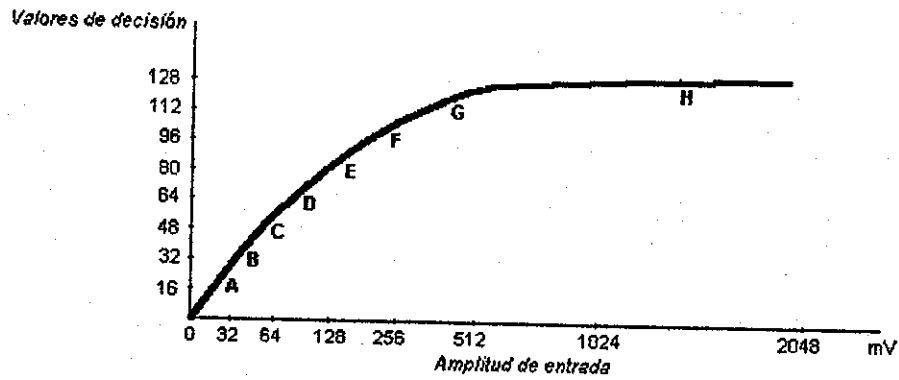
$$y = (1 + \log(Ax)) / (1 + \log(A)) , \text{ para } 1/A < x < 1$$

$$y = (Ax) / (1 + \log(1 + \log(A))) , \text{ para } 0 < x < 1/A$$

$$\text{donde } A = 87.6$$

La aproximación por segmentos a esta función está hecha de tal manera que cada segmento cambia su pendiente por un factor de 2. Existe un total de 8 segmentos (para la parte positiva de la curva), de los cuales los dos primeros son colineales como se ilustra en la figura 4, que muestra la relación entre los valores de la señal de entrada del codificador y los valores de decisión del mismo. De los 8 bits disponibles, el más significativo se utiliza para determinar la polaridad de la muestra ("1" si es positiva y "0" si es negativa). Los 7 bits restantes están organizados de la siguiente forma: los 3 siguientes indican en qué segmento cae la muestra (dado que son 8 segmentos) y los últimos 4 bits indican la posición relativa dentro del segmento dado.

figura 4. Ley de codificación A



1.3. Conceptos de multiplexación

Los sistemas de radiotransmisión, especialmente los de microonda, tienen la ventaja de que permiten la transmisión de muchas señales independientes a través de una vía de comunicación común mediante la implementación de un proceso denominado *multiplexación*.

La multiplexación es el proceso de integrar un cierto número "n" de canales de información independientes para formar una sola señal que es posible transmitir a través de una sola línea y que contiene la información de los "n" canales multiplexados.

El multiplexaje en un sistema de transmisión PCM se hace por el método denominado TDM (Time Division Multiplexing = multiplexación por división en el tiempo), en el cual cada impulso de señal es multiplexado en una base de tiempo. En cambio, en una transmisión analógica cada señal es asignada a frecuencias diferentes (multiplexación en una base de frecuencias) para transmitir a través de una sola línea; esta multiplexación se denomina FDM (Frequency Division Multiplexing = multiplexación por división en frecuencia).

1.4. Jerarquías PCM

Actualmente, se encuentran disponibles dos tipos de sistemas de transmisión PCM: el de multiplexor primario de 24 canales, denominado T1, y el de multiplexor primario de 30 canales, denominado E1. El sistema de 24 canales se emplea principalmente en Norte América y Japón. El sistema de 30 canales se emplea generalmente en Europa.

Una característica importante de los sistemas de multiplexación TDM es que es posible integrar una gran cantidad de canales con sólo añadir etapas o niveles de multiplexación adicionales (multiplexación de orden superior). De lo anterior se deriva el término jerarquía, que no es más que una norma estándar para la estructuración de sistemas de multiplexación de orden superior.

Dicho de otra manera, actualmente se reconocen dos tipos de jerarquías PCM; esta son: a) la que se deriva del grupo primario E1 y b) la que se deriva del grupo primario T1.

1.5. Multiplexación de primer orden

Todo el proceso anteriormente descrito (muestreo, cuantificación y codificación) se lleva a cabo paralelamente para los 30 canales de señal de audio en el multiplexor digital. Una vez que se tiene toda la información digital de cada uno de los canales, es necesario integrarlas todas en una misma señal que sea capaz de viajar a través de todo un medio de transmisión común. Como puede preverse, la integración de las 30 señales hará necesario que se añada información adicional con el fin de poder recuperar las mismas 30 señales en el punto de recepción. Al proceso de integrar a los 30 canales en una sola señal se le conoce como *multiplexación por división en el tiempo (TDM)*.

A la estructura básica que agrupa la información de los 30 canales se le conoce como *trama* (en inglés "frame"). Cada trama consta de una muestra de 8 bits para cada uno de los 30 canales además de dos canales, también de 8 bits, los cuales transportan la información de señalización y sincronización.

Las velocidades relacionadas con el sistema PCM 30 tienen su origen en lo siguiente: la velocidad de muestreo para este sistema se ha definido en 8,000 Hz, es decir, que se toman 8,000 muestras cada segundo. Si cada muestra consta de 8 bits, entonces se tiene que cada segundo se transmitirán $8,000 \times 8 = 64,000$ bits. De lo anterior se observa que la velocidad de cada canal es de 64 Kbit/s. Ahora bien, se tiene un total de 32 canales (30 de audio y 2 de señalización y sincronización) por lo que se necesita una velocidad de transmisión de $32 \times 64 \text{ Kbit/s} = 2,048 \text{ Kbit/s}$, que es la velocidad de transmisión de los sistemas PCM 30 de primer orden.

En lo que respecta al número de bits transmitidos, se tiene que para una trama se transportan $32 \times 8 = 256$ bits, por lo que la duración de una trama es $256 \text{ bits} / 2,048 \text{ Kbps} = 125 \mu\text{s}$. Puede definirse ahora lo que es una multitrama. Una *multitrama* no es más que un conjunto de 16 tramas, y tiene una duración de 2 ms ($16 \times 125 \mu\text{s} = 2 \text{ ms}$).

Los 32 canales dentro de una trama se conocen como intervalos de tiempo (técnicamente se les conoce por su nombre en inglés, time slots, TS's), y se enumeran de 0 a 31. Asimismo, las tramas dentro de una multitrama se enumeran del 0 al 15. Ahora, será necesario explicar la disposición de la información de señalización y sincronización dentro de la multitrama.

1) *Alineamiento de multitrama y no alineamiento de multitrama*

En el TS 16 de la trama 0 va la palabra que proporciona la pauta para reconocer el momento de inicio de una multitrama. Los primeros (más significativos) cuatro bits de esta palabra se conocen como la "*palabra de alineamiento de multitrama*", y a los cuatro siguientes (menos significativos) se les conoce como la "*palabra de no alineamiento de multitrama*". De esta palabra de 8 bits, el bit 6 normalmente debe estar en 0 y si se pone en 1 indica una alarma de multitrama distante, es decir que en la recepción no se está identificando a las multitrama.

2) *Alineamiento de trama y no alineamiento de trama*

En el TS 0 de las tramas pares va lo que se conoce como "*palabra de alineamiento de trama*", que marca el inicio de cada trama. Para las tramas impares se tiene, en el TS 0 la "*palabra de no alineamiento de trama*", y el bit 3 de esta palabra es el que indica la alarma de trama distante, es decir que en el punto de recepción se hay señal pero que no se tiene la sincronía necesaria para identificación de la información.

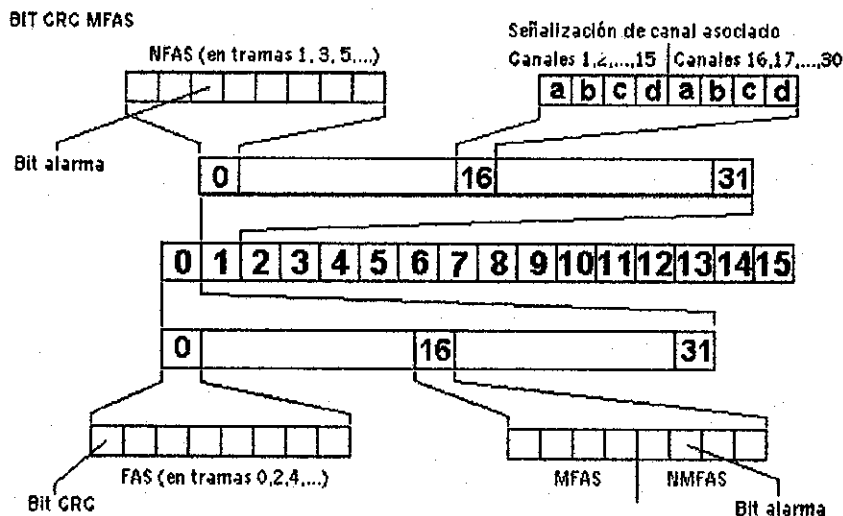
3) *Señalización*

En el TS 16 de todas las tramas (excepto la 0) viaja la información de señalización de canal asociado. Esta palabra de 8 bits se divide en dos; los cuatro bits más significativos llevan la información de señalización de los canales 1 al 15 y los cuatro bits menos significativos llevan la información correspondiente a los canales del 16 al 30. En la trama 1 va la información del canal 1 y del 16; en la trama 2 va la de los canales 2 y 17 y así sucesivamente, de manera que las 15 tramas son

suficientes para llevar la información de señalización de canal asociado de los 30 canales. A cada uno de los cuatro bits de señalización se les denomina *a*, *b*, *c* y *d*, respectivamente. Aquí es importante notar la redundancia de la información de señalización ya que para cada canal ésta no cambia en toda una multitrama, con duración de 2 ms, lo cual es un tiempo relativamente largo. Los bits *a b c d* proporcional el estado de un canal, la petición de toma de circuito, el reconocimiento de la trama, canal libre, canal ocupado, etc.

En la figura 5 se resume toda la información anterior acerca de la estructura de la trama para el sistema PCM de 30 canales.

figura 5. Estructura de la trama PCM 30.



1.6. PCM de orden superior

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de comunicación por microonda digital tienen la característica de permitir la transmisión de muchos canales a través de una vía de transmisión común. El número de señales que es posible transmitir en un enlace está en función del nivel de multiplexación en el que se encuentre operando el sistema. Así, en el sistema PCM 30, las señales de entrada (canales de voz) son muestreadas, cuantificadas y codificadas para obtener señales digitales que luego son multiplexadas (TDM) para generar una sucesión de pulsos de 2,048 Kbps. Esta multiplexación constituye el denominado *grupo primario*.

Un *grupo PCM de segundo orden* se logra multiplexando 4 grupos primarios en una base de bit por bit (multiplexaje por bits). La salida del grupo PCM de segundo orden así obtenida tiene una velocidad de 8,448 Kbps. Los grupos de orden superior se forman de modo similar.

Ahora bien, hay que hacer notar que al multiplexar cierto número "m" de señales digitales (trenes de datos) provenientes de "m" multiplexores de orden "n - 1" para conformar un nivel de multiplexación "n", se tiene el inconveniente de que cada uno de los "m" multiplexores se encuentra gobernado por una señal de reloj que es completamente independiente de los "m - 1" multiplexores restantes. En otras palabras, se tiene que las m señales que llegan a las entradas del multiplexor de orden n no se encuentran sincronizadas. A estas señales

se les conoce como *tributarias*, y se dice que son *pleσιόcronas*, ya que sus posiciones en el tiempo no son las mismas.

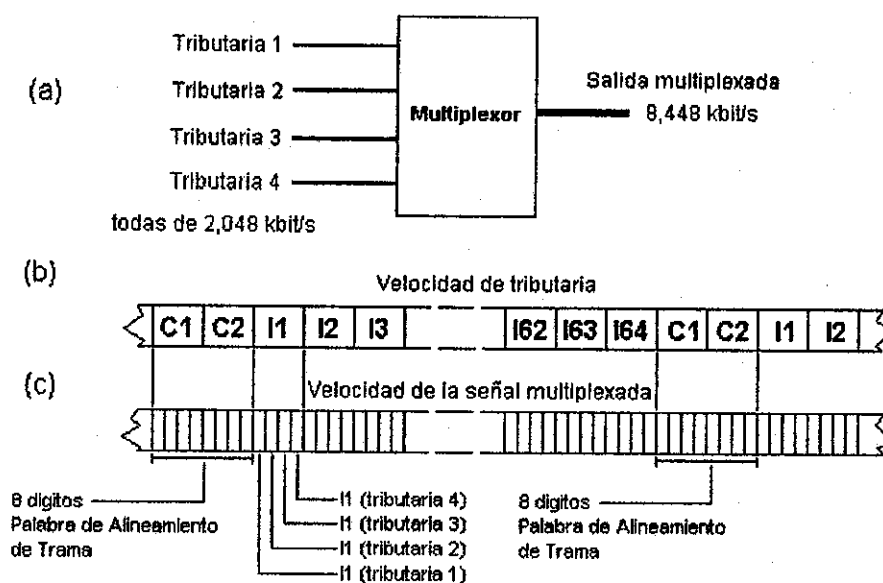
Para compensar estas diferencias en el tiempo en las señales tributarias es necesario el empleo de *técnicas de justificación o inserción de pulsos*. Una vez que se realiza este proceso intermedio, las tributarias ya se pueden multiplexar en forma sincrónica.

El problema de combinar 4 tributarias pleσιόcronas de 2,048 kbps para integrar una señal de 8,448 kbps se puede visualizar mejor a la velocidad de multiplexación de cada canal, es decir a $8,448 / 4 = 2,112$ Kbps. Se ve la necesidad de definir una estructura de trama de tal forma que en los 2,112 Kbps se puedan incluir los 2,048 Kbps de información junto con bits de control y de sincronización.

De lo anterior se observa que la relación (n) entre bits de información y los de control está dada por: $n = 2,048 / (2,112 - 2,048) = 32:1$. Partiendo de este resultado puede pensarse en una estructura de trama que incluya 2 bits de sincronización y control por cada 64 bits de información. La trama resultante de este razonamiento se muestra en la figura 6. En (a) se muestra un diagrama esquemático de la multiplexación de segundo orden. En (b) se muestra la señal tributaria, con dos bits de control C1 y C2 seguidos por 64 bits de información I1 a I64. En la parte (c) se muestra la señal ya multiplexada y se muestra como entre los 2 bits de control de cada tributaria se puede constituir una palabra de alineamiento de trama de 8 bits.

En la figura 6 se ilustra también la multiplexación, pues se ve como se transmite primero el bit I1 de cada una de las tributarias, después el bit I2 y así sucesivamente (multiplexación bit por bit).

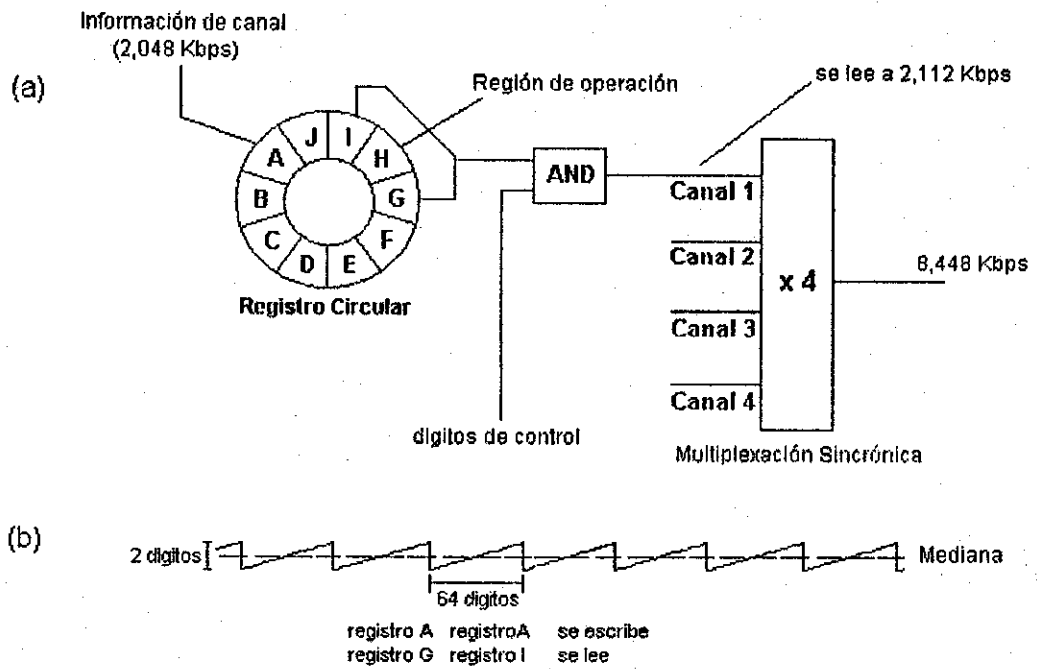
figura 6. (a) multiplexación de 4 tributarias de 2,048 kbit/s
 (b) Estructura de trama de canal
 (c) Estructura de trama multiplexada.



Es conveniente considerar el mecanismo mediante el cual se inserta la información de control. En la figura 7 se ve como es que se utiliza para este proceso un registro circular mejor conocido como memoria elástica. La escritura en el registro es continua, de manera que los datos se van desplazando de una localidad a otra en forma circular. Sin embargo, la lectura se efectúa de forma sistemática deteniéndose periódicamente para permitir la inserción de la

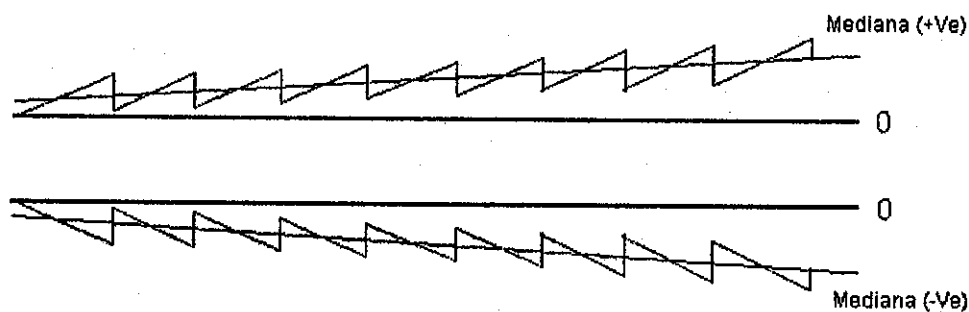
información adicional. En la parte (b) de la figura 7 se ilustra una relación entre la fase de los relojes de escritura y lectura. Se ve como cuando en el instante en el que se escribe en la localidad A, se lee en la localidad G. En este punto la fase del reloj de escritura está un bit adelante del reloj de lectura. Sin embargo, después de que se escriben 64 bits se llega al punto en el que se escribe en la misma localidad A pero ahora se lee en la localidad I. Ahora es el reloj de escritura quien se encuentra atrasado un bit. La condición ideal consiste en que esta diferencia de fase mantenga una mediana constante, de manera que en el registro circular se tenga una cierta zona de operación, comprendida entre las localidades I y G como se muestra. Ya aquí puede verse la importancia de mantener controlada esta relación de fase.

figura 7. (a) Inserción de dígitos de control usando un registro circular.
 (b) Relación de fase entre los relojes de lectura y escritura.



Por ejemplo, si la velocidad de escritura comienza a incrementarse, la mediana de esta relación de fase comenzará a aumentar y se corre el riesgo de desbordar la capacidad del registro circular con la consecuente pérdida de información. En el caso contrario, se puede vaciar el registro circular y se requerirá de la duplicación de la información de la información para no perder la continuidad en la transmisión. A ambas situaciones se les conoce como "slips" o deslizamientos. Esto se muestra en la figura 8.

figura 8. Relaciones de fase entre reloj de escritura y reloj de lectura

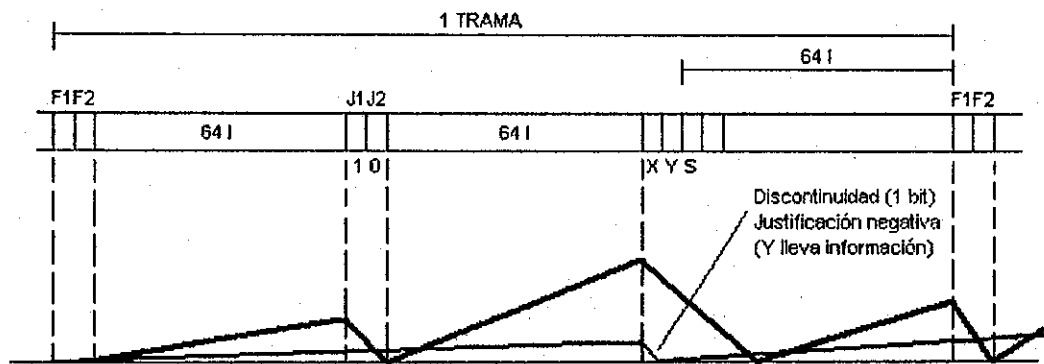


1.7. Justificación negativa y positiva

La justificación es el método a través del cual se neutralizan las variaciones de fase de los relojes de escritura y lectura. En la figura 9 puede verse como se modificará la información contenida en una trama dependiendo de la relación de fase. Se ve que la relación "n" sigue siendo 32 (64 bits de información por cada 2 bits de control) pero ahora

se ha incrementado la longitud de cada trama y se han agregado los bits J1, J2, X y Y. Los bits J1 y J2 serán los bits de control de justificación y los bits X y Y son espacios de tiempo que podrán contener información o no.

figura 9. Estructura de trama para justificación positiva y negativa y relación de fase



Para comprender mejor lo anterior, tómese el caso en el cual el reloj de escritura está operando demasiado rápido en comparación con el de lectura. Ya que no es posible controlar la velocidad de la tributaria, la única solución es apresurar la velocidad de lectura de información. Esto se lleva a cabo al leer adicionalmente durante el intervalo Y. Ahora el bit Y transporta información que debe ser demultiplexada en el receptor. Bajo esta situación se dice que se ha efectuado una justificación negativa, lo cual se indica con el valor 10 tomado por los bits J1 y J2.

En la situación contraria, es decir si la velocidad de la tributaria disminuye, ahora será necesario disminuir la velocidad de lectura. Para esto se deja de leer información en el espacio de tiempo S, al cual se le conoce como *bit de justificación o inserción*. De esta forma, el total de bits de información transportados en una trama se ve decrementado en un bit. Esta es la justificación positiva y se incide con el código 01 de los bits J1 y J2. Mediante la justificación se pretende mantener la mediana de la relación de fase con un valor constante, al menos dentro de ciertos límites aceptables.

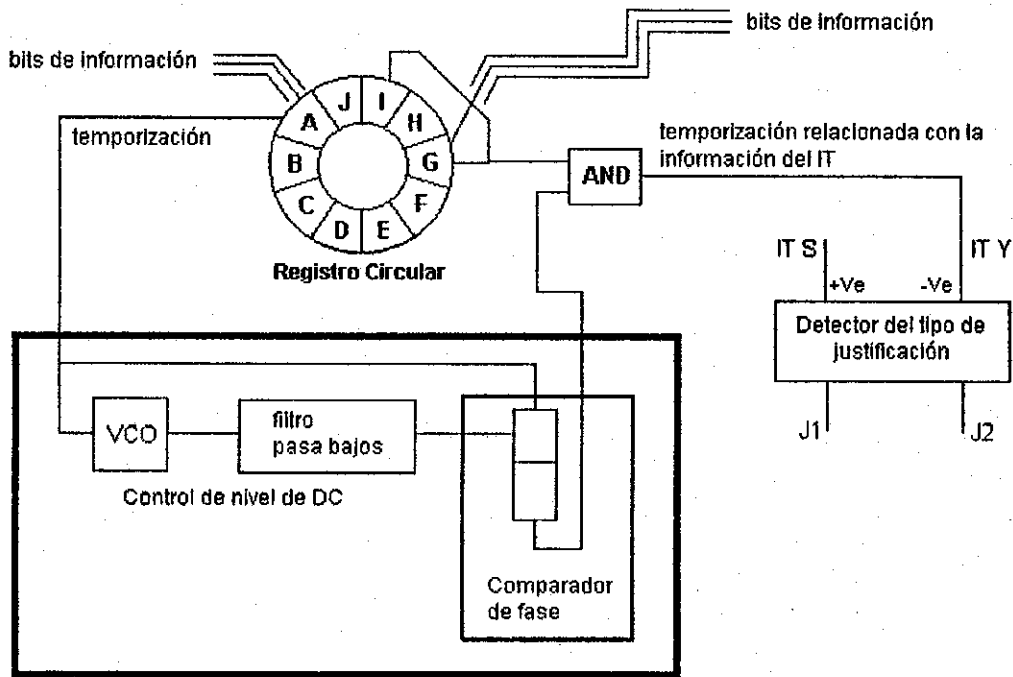
El proceso contrario a la justificación es la desjustificación, que tiene lugar en la parte receptora del circuito de comunicaciones. Aquí no se detecta cuando es necesaria la justificación sino cuándo se efectuó en el equipo multiplexor del transmisor. Esto se logra mediante la interpretación del código indicado en los bits J1 y J2.

El circuito de desjustificación realiza dos tareas básicas: (1) obtiene los bits de información (incluyendo Y y excluyendo S para justificación negativa y positiva respectivamente), y (2) regenera una señal de reloj continua con velocidad nominal equivalente a la temporización original de la tributaria. La señal de reloj debe regenerarse con la utilización de un circuito PLL, tal como se muestra en la figura 10, en donde la señal de referencia suministrada al PLL es equivalente a la velocidad del canal de información.

El control resultante suministrado al VCO es idéntico a la mediana de la relación de fase entre los relojes de lectura y escritura en el multiplexor.

Las pequeñas variaciones en el tiempo de la temporización regenerada con respecto a una señal de reloj ideal es lo que se conoce como *jitter del multiplexor* o *jitter por tiempo de espera*. La mayor parte de este jitter se presenta debido a las discontinuidades que presenta la mediana de las relaciones de fase que se utilizan como señal de control en el PLL del circuito de desjustificación. Debido a que estas discontinuidades son precisamente producto de la corrección de las variaciones de velocidad, este jitter es un mal necesario y no puede ser evitado. El diseño del PLL debe ser muy crítico para que no introduzca corrimientos de fase por él mismo.

figura 10. Proceso de desjustificación



2. TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES

2.1. Proceso de transmisión

En general, un equipo de radio microonda digital (DMR) incorpora varias funciones de procesamiento de datos para las señales digitales de entrada, esto con el fin de darles una forma conveniente para ser transmitidas sobre un canal de microondas. Estas funciones son brevemente descritas a continuación.

2.1.1. Ecuación

La ecuación es el proceso mediante el cual se corrigen en cierta medida la distorsión y la atenuación que la señal digital sufre como resultado de pasar a través del cable de transmisión que une el equipo multiplexor digital con el equipo de radio.

2.1.2. Conversión de forma de onda

La forma de onda de salida de un equipo multiplexor digital generalmente contiene una componente de DC de valor cero lo que permite su adecuada transmisión a través de un cable. Un ejemplo de esto es una señal bipolar. Una forma de onda de este tipo no es adecuada para el procesamiento dentro de un equipo de radio, por lo que ésta es convertida a otro tipo de forma de onda; esto es, una señal NRZ (Not Return to Zero = sin retorno a cero). Este tipo de forma de onda sí es útil para el procesamiento digital.

2.1.3. Interface de múltiples trenes de datos asíncronos

La capacidad de transmisión de un sistema DMR es seleccionada de tal forma que sea un múltiplo de un nivel jerárquico estándar. Por esta razón, se requiere de una técnica de multiplexación que permita la sincronización de los trenes asíncronos de datos de entrada al multiplexor.

Una ventaja que presenta un sistema sincronizado en un sistema DMR es que extracción e inserción de señales digitales desde y hacia el tren de datos principal pueden ser hechas sin tener que pasar a través del multiplexor digital, lo que permite que el sistema sea más flexible y económico.

2.1.4. Código piloto o código de paridad

La inserción de un código piloto, o un código de paridad, permite detectar si se presenta un mal funcionamiento del sistema, tal como la falla de algún circuito asociado al mismo. Las condiciones anormales pueden ser detectadas monitoreando el código de error o el BER (Bit Error Rate) el cual es un factor que indica la calidad de transmisión de un sistema de microonda digital.

2.1.5. Conversión "m" a "n"

Un sistema DMR usualmente emplea modulación digital multinivel. Esto permite hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico. Sin embargo, los circuitos y componentes empleados en el procesamiento de señales digitales son básicamente circuitos de nivel 2. De acuerdo con esto, cuando se emplea modulación de valor 2^n , los trenes de señal digital son convertidos a trenes de señal de entrada de valor 2.

Cuando trenes de código digital m se introducen al equipo de radio, se emplea una conversión "m" a "n", pero, cuando $m = n$, esta función no es requerida.

2.1.5. "Scrambling"

El "scrambling" es un proceso muy importante para los sistemas de microonda digital, debido a que la probabilidad de que un "0" o un "1" ocurra en la señal digital proveniente del multiplexor digital es no necesariamente igual a $\frac{1}{2}$. Además, ya que el espectro de una señal modulada digitalmente varía de acuerdo a la relación de marca/espacio ("1" o "0") de la señal digital, modular una portadora directamente con la señal digital de entrada puede dar origen a un espectro de frecuencia distorsionado, lo cual originaría serios problemas de interferencia.

Cuando en la señal digital no se presentan con cierta frecuencia transacciones de 0 a 1 o de 1 a 0, la extracción de señal de reloj en el demodulador se dificulta y por consiguiente aparecerán bits erróneos en el circuito de regeneración del receptor. Para descartar esta posibilidad, la señal de entrada y una señal *pseudo aleatoria* generada en el equipo transmisor son "*scrambleadas*", es decir, combinadas a través de una lógica OR exclusiva (XOR).

En resumen, scramblear una señal digital permite hacer un uso más eficiente del espectro de frecuencias, además de que reduce en gran medida la aparición de bits erróneos en el demodulador digital del equipo receptor.

2.2. Interface de banda base

2.2.1. Tipos de señal en banda base

En un sistema de transmisión PCM, los niveles muestreados de una señal de entrada son convertidos a una señal codificada binaria.

El camino más simple para transmitir eléctricamente una señal binaria con niveles "1" y "0" es hacer que estos correspondan a la "marca" y al "espacio" de un pulso. Un ejemplo típico de una señal binaria es la formada por una sucesión de "pulsos unipolares". Estos pulsos tienen sólo una polaridad (+ ó -), expresando la presencia de un pulso como "+V (marca)" y la ausencia de un pulso como "0 (espacio)". Los símbolos lógicos "1" y "0" corresponden a:

pulso 0: "0" (espacio)

pulso 1: "1" (marca)

En general, para seleccionar un método de codificación ha de tenerse en cuenta lo siguiente:

- a) la variación de la componente de DC de la señal ha de ser lo más pequeña posible,
- b) la señal de reloj (temporización) ha de ser fácilmente recuperable a partir de la señal binaria de datos, y
- c) el ancho de banda necesario para transmitir la señal codificada ha de ser lo más angosto que se pueda.

Otro método de codificación típico es el llamado "bipolar", en el cual están presentes tres niveles, positivo (+), negativo (-) y cero (0). En éste, el "0" y el "1" de una señal binaria son eléctricamente representados de la siguiente manera:

"0": 0 (espacio)

"1": +V ó -V (marca)

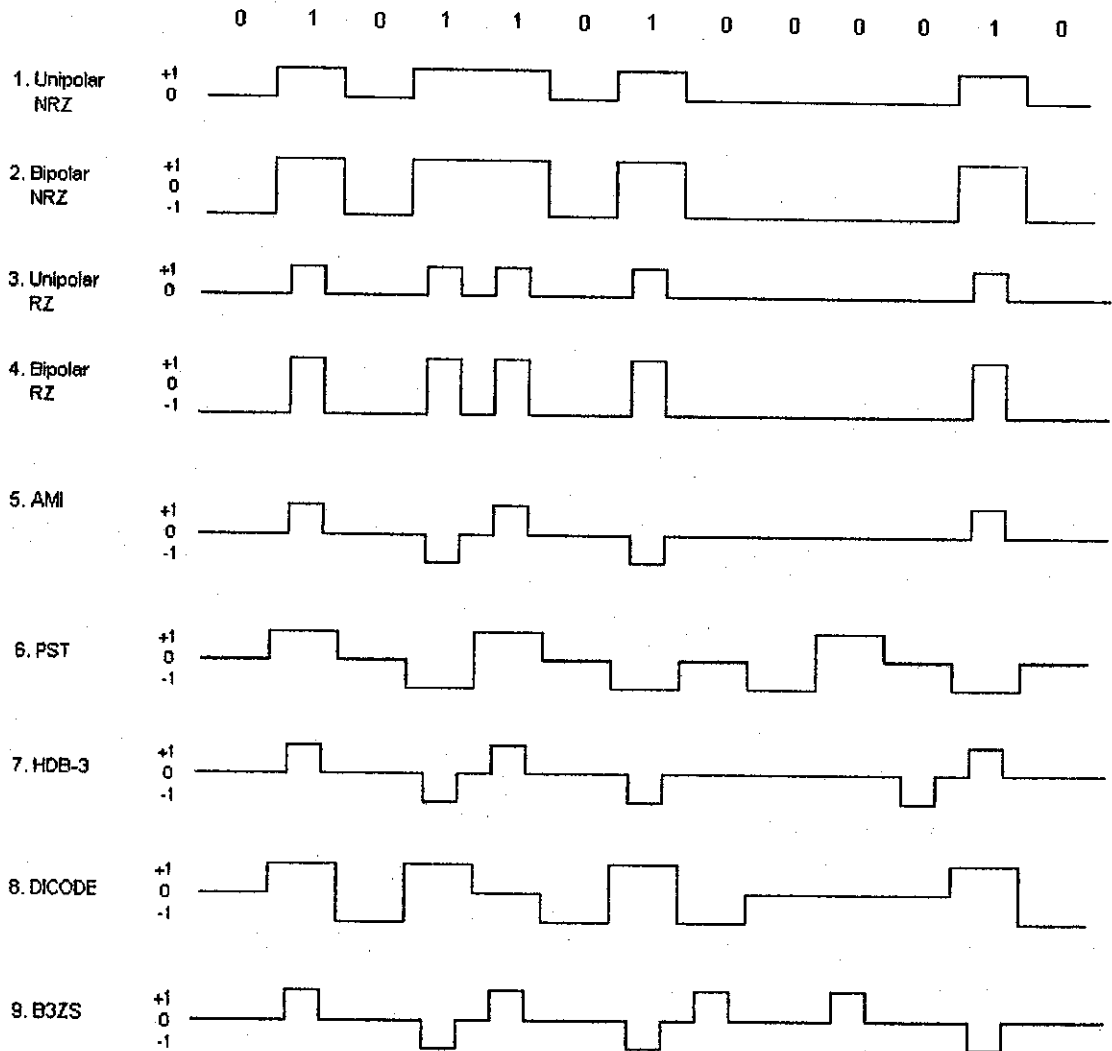
Muchos tipos de señales bipolares han sido estructurados utilizando diferentes algoritmos. En la figura 11 se muestran varios ejemplos de formas de onda típicas para señales bipolares.

2.2.2. Código PST (Paired Selected Ternary)

La codificación de una señal binaria en PST es realizada atendiendo a las siguientes reglas:

Patrón de señal binaria (2 bits)	Regla de codificación			
	MODO 1		MODO 2	
1 1	+V	-V	+V	-V
1 0	+V	0	-V	0
0 1	0	+V	0	-V
0 0	-V	+V	-V	+V

figura 11. Ejemplos de señales bipolares.



Notas:

- NRZ : Nonreturn-to-zero
- RZ : Return-to-zero
- PST : Paired Selected Ternary
- HDB3 : High Density Bipolar 3
- B3ZS : Bipolar with 3-Zero Substitution

Cuando una señal "1 0" o "0 1" aparece, los modos mostrados en la tabla anterior son alternados; pulsos negativos y positivos son asignados a cada lógica "1" basándose en la regla de codificación.

2.2.3. Código tipo dicode

1. Cuando el nivel del pulso es igual al nivel del pulso anterior, se asigna un "0": "1 1" o "0 0" se asigna un "0"
2. Cuando los niveles del primero y segundo pulso son "0" y "1" respectivamente, se asigna un nivel "+V": "0 1" se asigna un "+V"
3. Cuando los niveles del primero y segundo pulso son "1" y "0" respectivamente, se asigna un nivel "-V": "1 0" se asigna un "-V"

2.2.4. Código AMI

Una señal en código AMI es aquella en la que un pulso positivo (+V) es asignado al primer "1" y un pulso negativo (-V) es asignado al segundo "1". Esto es, pulsos positivos y negativos son asignados en forma alterna a cada lógica 1.

2.2.5. Código HDB3 (High Density Bipolar 3)

1. Cuando 4 o menos bits sucesivos de lógica "0" están presentes en la señal, la regla bipolar AMI es aplicable.
2. Cuando 4 o más bits sucesivos de lógica "0" están presentes en la señal, la sucesión "0000" se reemplaza con "B00V" o "000V" donde "B" es un pulso de lógica "1" de conformidad con las reglas de codificación bipolar y "V" es un pulso de lógica "1" (pulso de violación) no de conformidad con las reglas de codificación bipolar.
3. El uso de "B00V" o "000V" depende del número de pulsos "B" contenidos dentro del intervalo existente entre pulsos "V".

Para número impar: 000V

Para número par: B00V

2.2.6. Código B3ZS (Bipolar with 3 Zero Substitution)

1. Cuando 3 o menos bits sucesivos de lógica "0" están presentes en la señal, la regla bipolar AMI es aplicable.
2. Cuando más bits de 3 bits sucesivos de lógica "0" están presentes en la señal, la sucesión "000" es reemplazada con "B0V" o "00V" donde "B" es un pulso de lógica "1" de conformidad con las reglas de codificación bipolar y "V" es un pulso de lógica "1" (pulso de violación) no de conformidad con las reglas de codificación bipolar.
3. El pulso de "B0V" o "00V" depende del número de pulsos "B" contenidos dentro del intervalo existente entre dos pulsos "V"

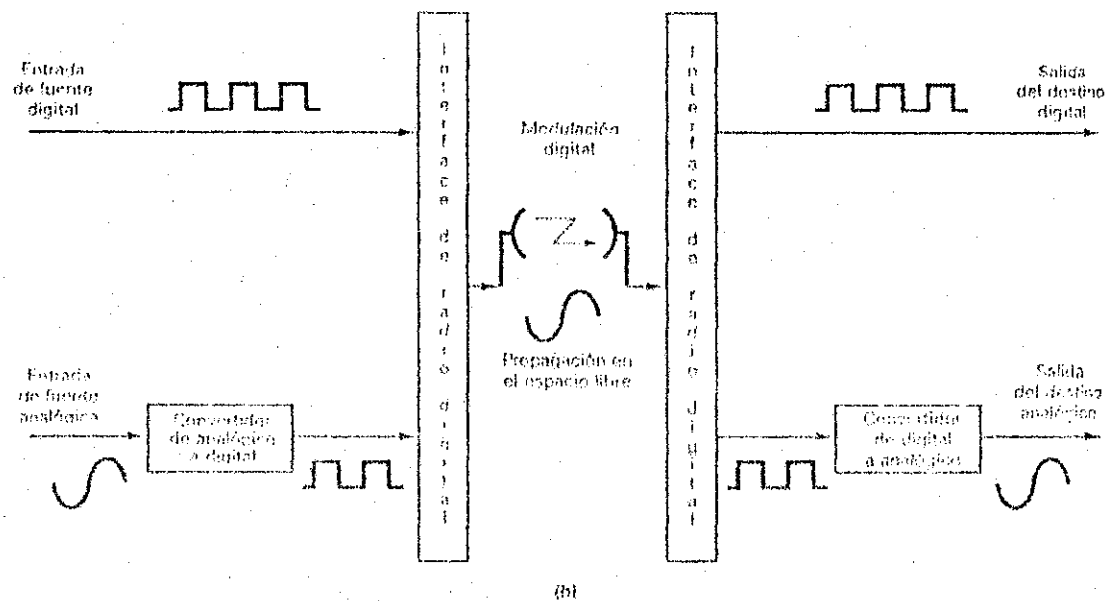
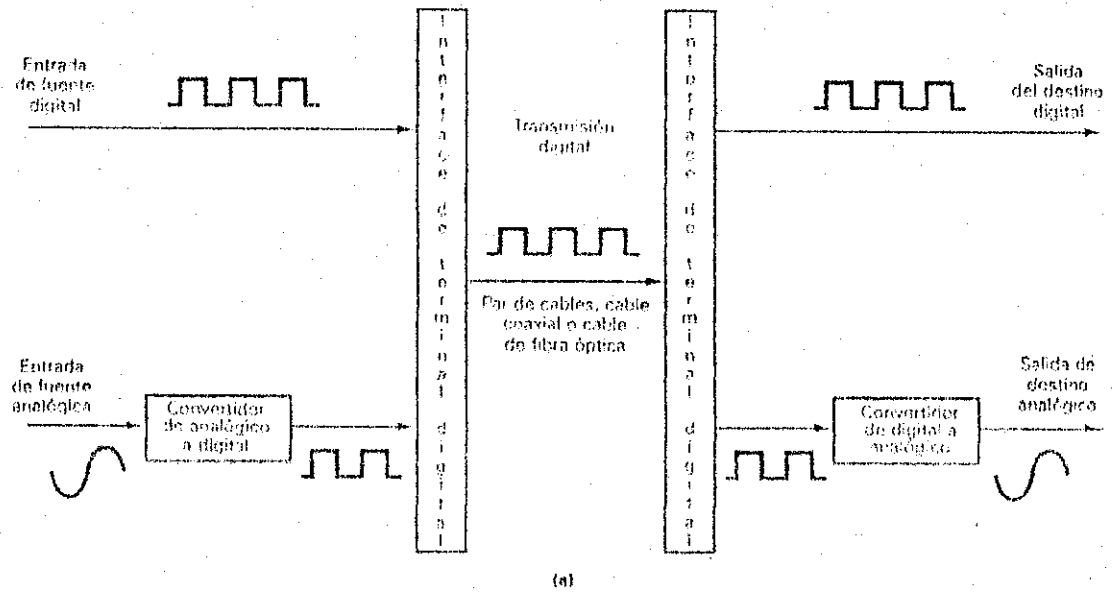
para número impar: 00V
para número par: 00V

2.3. Comunicaciones digitales

El término *comunicaciones digitales* abarca un área extensa de técnicas de comunicación, incluyendo *transmisión digital y radio digital*. La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales, entre dos o más puntos de un sistema de comunicación. El radio digital abarca la transmisión de portadoras analógicas moduladas en forma digital, entre dos o más puntos de un sistema de comunicación. Los sistemas de transmisión digital requieren de un elemento físico entre el transmisor y el receptor, tal como un par de cables metálicos, un cable coaxial o un cable de fibra óptica. En los sistemas de radio digital el medio de transmisión es el espacio libre, es decir, la atmósfera de la Tierra. En la figura 12 se muestra el diagrama de bloques simplificado, tanto de un sistema de transmisión digital como un sistema de radio digital.

En un sistema de transmisión digital, la información de la fuente original puede ser en forma digital o analógica. Si está en forma analógica, tiene que convertirse a pulsos digitales antes de la transmisión y convertirse de nuevo a la forma analógica en el extremo de recepción. En un sistema de radio digital, la señal de entrada modulada y la señal de salida demodulada son pulsos digitales. Los pulsos digitales pueden originarse desde un sistema de transmisión digital, de una fuente digital, o de la codificación binaria de una señal analógica.

Figura 12. Sistemas de comunicación digital. (a) transmisión digital, (b) radio digital



Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 456. Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1996.

2.4. Sistema de radio digital

Lo que distingue un sistema de radio digital de un sistema de radio AM, FM o PM, es que en un sistema de radio digital las señales de modulación y demodulación son pulsos digitales, en lugar de formas de onda analógicas. El radio digital utiliza portadoras analógicas al igual que los sistemas convencionales. En esencia, hay tres técnicas de modulación digital: modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), modulación por desplazamiento de fase (PSK) y modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

2.4.1. Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

La modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) es, en cierta medida, una técnica de modulación digital de bajo rendimiento. El FSK binario es una forma de modulación angular de amplitud constante, similar a la modulación de frecuencia convencional, excepto que la señal moduladora es un flujo de pulsos binarios que varía entre dos niveles discretos de voltaje, en lugar de una forma de onda analógica que varía de manera continua. La expresión general para una señal FSK binaria (BFSK) es:

$$v(t) = V_c \cdot \cos((\omega_c + (V_m(t) \cdot \Delta\omega) / 2)t)$$

donde $v(t)$ = forma de onda FSK binaria

V_c = amplitud pico de la portadora no modulada

ω_c = frecuencia de la portadora, en radianes

$V_m(t)$ = señal moduladora digital binaria

$\Delta\omega$ = cambio de la frecuencia de salida, en radianes

De esta ecuación puede verse que, con BFSK la amplitud de la portadora V_c se mantiene constante con la modulación. Sin embargo, la frecuencia de la portadora a la salida del modulador cambia por una cantidad igual a $\pm\Delta\omega/2$. El cambio de frecuencia es proporcional a la amplitud y polaridad de la señal binaria de entrada. Además, la rapidez de cambio de la frecuencia de la portadora es igual a la rapidez de cambio de la señal de entrada binaria $V_m(t)$ (o sea, la razón de bit de entrada). Por tanto, la frecuencia de la portadora de salida se desvía (cambia) entre $\omega_c + \Delta\omega/2$ y $\omega_c - \Delta\omega/2$.

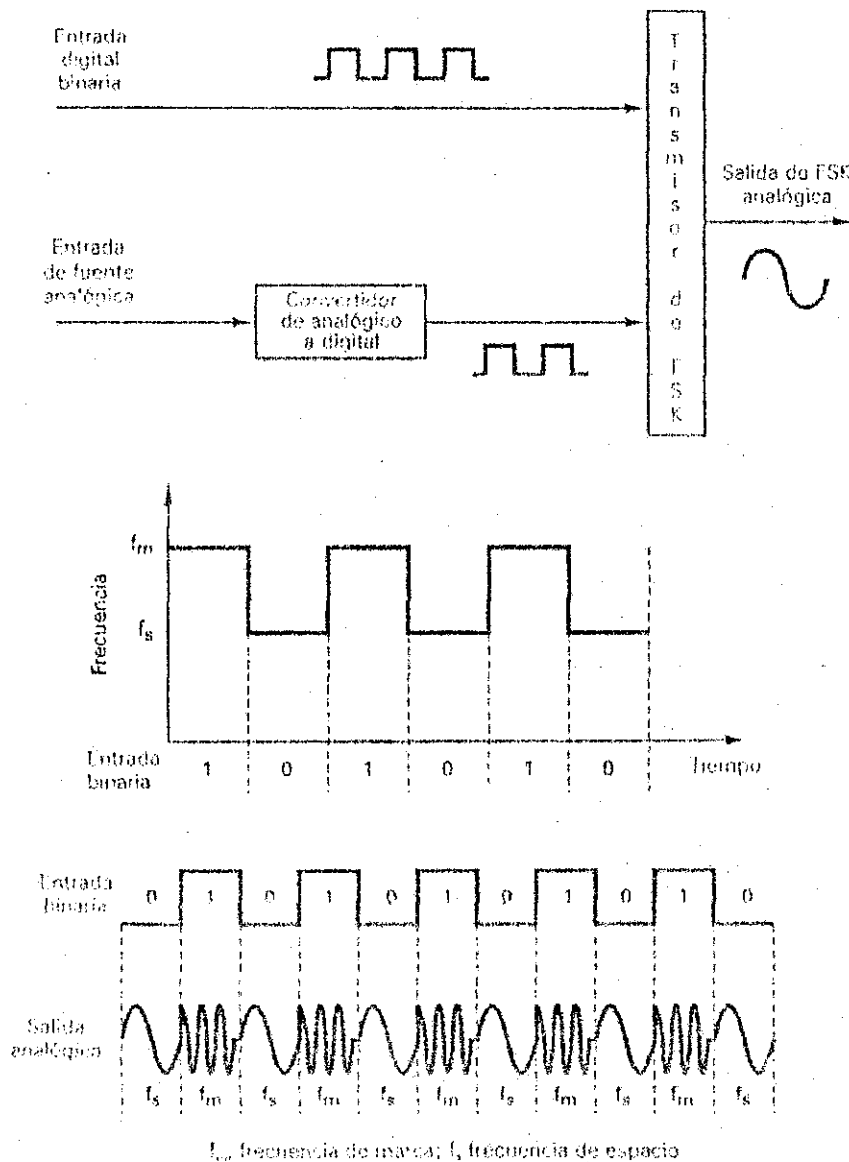
Con el BFSK, la frecuencia de la portadora varía en función de los datos de entrada binaria. En consecuencia, la salida de un modulador BFSK es una función escalón en el dominio del tiempo. Conforme cambia la señal de entrada binaria de lógica 0 a lógica 1, y viceversa, la salida del modulador se desplaza entre dos frecuencias: una frecuencia de marca o de lógica 1 y una frecuencia de espacio o de lógica 0. Con el BFSK hay un cambio en la frecuencia de salida cada vez que la condición lógica de la señal de entrada cambia.

En modulación digital, la razón (rapidez) de cambio de la señal de entrada del modulador se llama *razón de bit* y se expresa en *bits por segundo (bps)*. La razón de cambio de la salida del modulador se llama *baudio* o *razón de baudio* y es igual al recíproco del tiempo de un elemento de señalización de salida. En esencia, el baudio es la razón de

la línea en símbolos por segundo. En BFSK, las razones de cambio de entrada y salida son iguales, en consecuencia, la razón de bit y la razón de baudio son iguales. La figura 13 muestra el principio fundamental de un modulador BFSK.

Figura 13. Transmisor de FSK binario

Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 458. Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.



2.4.2. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

Transmitir por desplazamiento de fase (PSK) es otra forma de modulación angular, que origina una señal de amplitud constante. El PSK es similar a la modulación de fase convencional, excepto que con PSK la señal de entrada es una señal digital y son posibles un número limitado de fases de salida.

Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK) son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un "1" lógico y la otra un "0" lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase.

En el sistema BPSK, los niveles lógicos "1" y "0" de la salida binaria corresponden a las fases "0" y " π ". Una señal de este tipo puede expresarse como:

$$e(t) = \pm A \cdot \cos(\omega_c t + \theta)$$

donde A es la amplitud constante de la portadora modulada, ω_c es su frecuencia y θ es cierto desfase dado.

Generalmente, en modulación PSK, pueden transmitirse n pulsos binarios al mismo tiempo aplicando fases $2\pi/m$ (donde m es igual a 2^n niveles) para el desplazamiento de fase. Por ejemplo, cuando m es igual a 4, se tiene modulación PSK de cuatro fases en la que puede transmitirse dos pulsos binarios a la vez.

La figura 14 muestra los diagramas vectoriales para modulación BPSK, PSK de cuatro fases (4PSK) y PSK de 8 fases (8PSK).

Debido a que en un sistema PSK la información que se transmite está contenida en la fase (o diferencia de fase) de la portadora, el sistema es por naturaleza insensible a las fluctuaciones del nivel de la señal recibida en el receptor. Así mismo, la característica de la tasa de errores de bit del sistema PSK es excelente en comparación con las que se presentan en los otros sistemas de modulación digital (esto se verá más adelante). Por esta razón, el sistema PSK es usado y muy bien aceptado en sistemas digitales de radioenlace línea vista.

2.4.3. Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

En este método o sistema de modulación, una portadora es modulada en amplitud por una señal digital. La portadora $v(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + \phi)$ es modulada por un tren de pulsos digitales $s(t)$ dando origen a una señal $e(t)$ que se expresa como sigue: (esto es, para un índice de modulación del 100%)

$$e(t) = A \cdot s(t) \cdot \cos(\omega_c t + \phi)$$

Cuando la forma de onda de los impulsos digitales es unipolar, $s(t)$ se representa como:

$$s(t) = 1, \text{ para un nivel l\u00f3gico "1" y}$$

$$s(t) = 0, \text{ para un nivel l\u00f3gico "0"}$$

por consiguiente, la portadora modulada es:

$$e(t) = A \cdot \cos(\omega c + \phi), \text{ para } s(t) = 1$$

$$e(t) = 0, \text{ para } s(t) = 0$$

Este m\u00e9todo de modulaci\u00f3n se denomina *modulaci\u00f3n por cierre y apertura* o ASK unipolar. En cambio, si la forma de onda de los impulsos digitales de entrada es bipolar, $s(t)$ y $e(t)$ se representan como:

$$s(t) = \pm 1$$

$$e(t) = \pm A \cdot \cos(\omega c t + \phi)$$

Este m\u00e9todo generalmente se denomina ASK bipolar.

La modulaci\u00f3n de cierre y apertura tiene una configuraci\u00f3n circuital muy sencilla. Sin embargo, pocas veces se aplica en los sistemas de radio enlace por microondas en los que se debe tener en cuenta la fluctuaci\u00f3n de la se\u00f1al recibida debido a desvanecimiento.

En la parte a de la figura 15 se muestra el diagrama de un modulador de cierre y apertura, mientras que en la parte b de la misma figura se muestra un modulador ASK bipolar (modulador de anillo).

2.4.4. Modulación de Amplitud en cuadratura (QAM)

En modulación PSK la información digital se encuentra contenida en los cambios instantáneos de la fase de la portadora modulada. Esta portadora tiene amplitud constante. Cuando el número "m" de fases ($m = 2^n$, donde n es el número de bits transmitidos simultáneamente) es grande (digamos, para un m mayor o igual a 32) y el canal de comunicación es ruidoso, se torna difícil poder distinguir con certeza en el receptor los cambios de fase transmitidos.

Es posible mejorar el grado de inmunidad al ruido de un sistema si se permite que la señal modulada varíe no solo en su fase sino también en su amplitud. Un sistema que permite esto se denomina *sistema QAM* (Quadrature Amplitude Modulation = modulación de amplitud en cuadratura), o también sistema QAPSK (Quadrature Amplitude and Phase Shift Keying = modulación por desplazamiento de fase y amplitud en cuadratura).

Como un ejemplo de modulación QAM, considérese un sistema en el que se transmite un símbolo por cada cuatro bits. Hay entonces 16 posibles símbolos diferentes y se tendrá la posibilidad de generar 16 señales diferentes. La representación geométrica (constelación) de un sistema QAM de este tipo se muestra en la figura 16. Puede verse que cada símbolo está simétricamente separado de sus vecinos una distancia "d" que es mayor a la distancia entre símbolos que se presentaría en un sistema PSK de 16 símbolos, pudiéndose distinguir

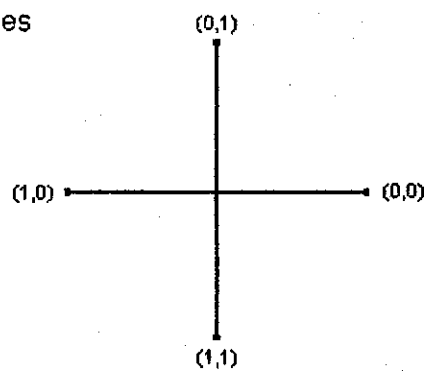
más fácilmente cada símbolo en presencia de ruido. Es por esto que un sistema QAM presenta un mayor grado de inmunidad al ruido que un sistema PSK equivalente

figura 14. Diagrama vectorial de modulación por PSK.

(a) PSK de 2 fases



(b) PSK de 4 fases



(c) PSK de 8 fases

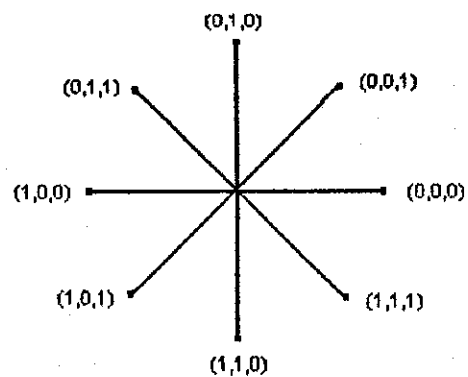
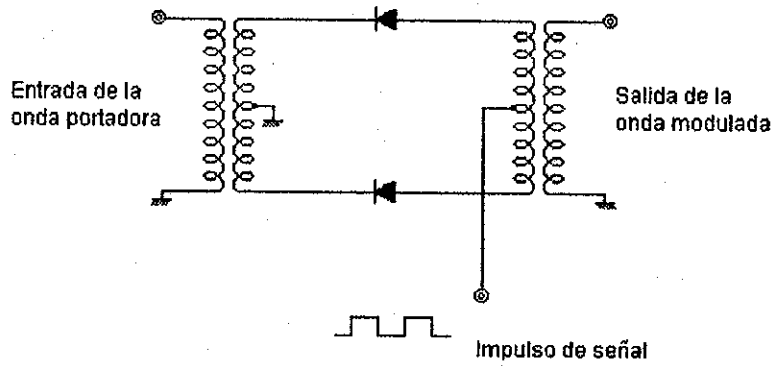


figura 15. Moduladores ASK. (a) modulador de cierre y apertura, (b) modulador de anillo

(a)



(b)

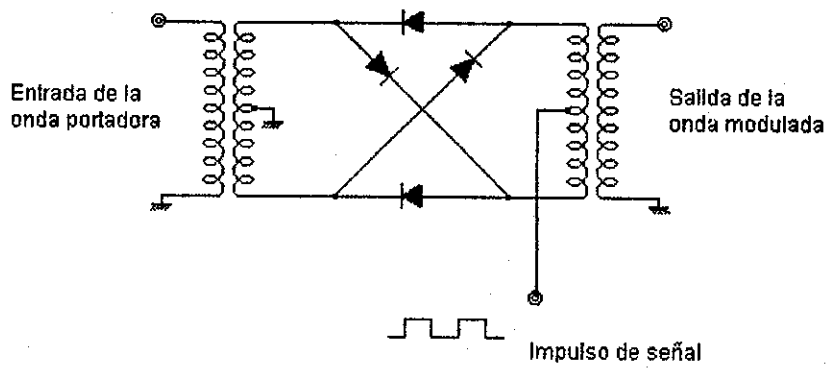
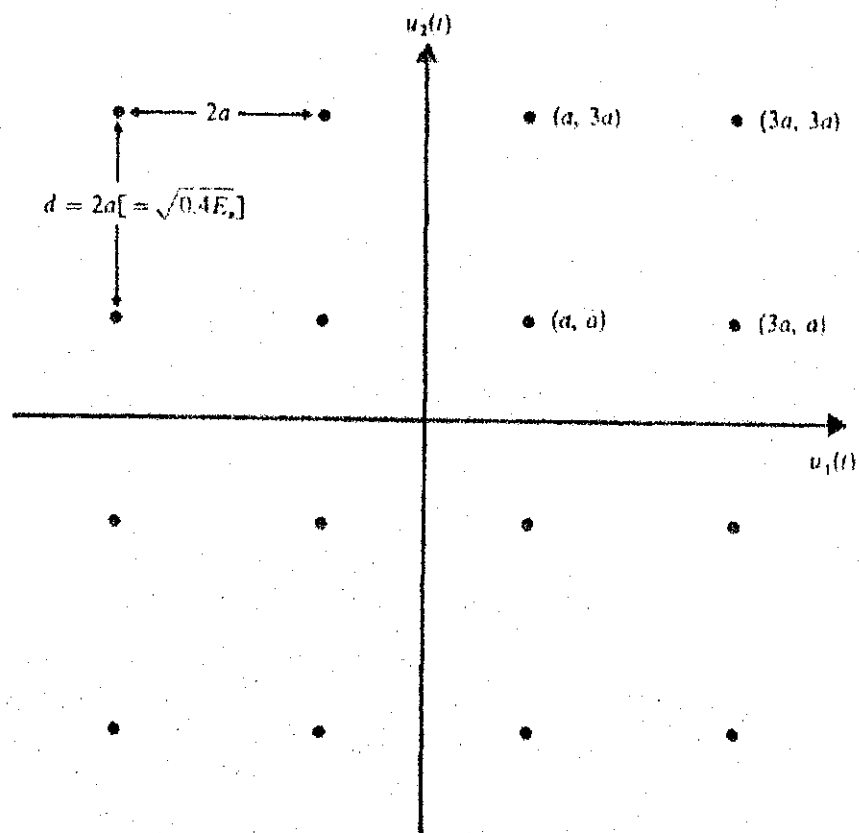


figura 16. Representación de la constelación de un sistema 16 QASK



Tomada del libro titulado **Principles of communications systems**. 2da. edición. Pág. 273.
Escrito por Herbert Taub y Donald Schilling. E.E.U.U.: McGraw Hill, 1986.

2.4.5. Eficiencia del ancho de banda

La eficiencia del ancho de banda (o densidad de información) a menudo se utiliza para comparar entre el rendimiento de varias técnicas de modulación digital. En esencia, es la relación de la tasa de bits de transmisión al mínimo ancho de banda requerido para un esquema de modulación en particular. La eficiencia del ancho de banda, por lo general se normaliza a un ancho de banda de 1 Hz, en consecuencia, indica el número de bits que pueden propagarse a través de un medio por cada hertz de ancho de banda. Matemáticamente la eficiencia del ancho de banda es:

$$\begin{aligned} \text{eficiencia BW} &= \text{taza de transmisión (bps)} / \text{mínimo ancho de banda (Hz)} \\ &= (\text{bit/seg})/\text{Hz} = (\text{bit/seg})/(\text{ciclos/seg}) = \text{bit/ciclo} \end{aligned}$$

2.4.6. Comparación entre técnicas de modulación

Las principales características de las más comunes formas de FSK, PSK y QAM se resumen comparativamente en la tabla I.

Tabla I. Comparación entre técnicas de modulación

Modulación	Codificación	Ancho de banda (Hz)	Baudío	Eficiencia del ancho de banda (bps/Hz)
FSK	bit sencillo	$> fb$	fb	< 1
BPSK	bit sencillo	fb	fb	1
QPSK	dibit	$fb/2$	$fb/2$	2
8-PSK	tribit	$fb/3$	$fb/3$	3
8-QAM	tribit	$fb/3$	$fb/3$	3
16-PSK	quadbit	$fb/4$	$fb/4$	4
16-QAM	quadbit	$fb/4$	$fb/4$	4

fb : frecuencia de bit.

2.5. Transmisión en la banda de microondas

2.5.1. Guías de onda

Las líneas de transmisión de cables paralelos, incluyendo los cables coaxiales, no pueden propagar eficazmente la energía electromagnética arriba de 1 GHz aproximadamente, y en frecuencias arriba de 15 GHz aproximadamente, son inservibles para distancias mayores de unas cuantas pulgadas. Esto se debe a la atenuación causada por el efecto piel en el cable y por las pérdidas de radiación. Además, las líneas de transmisión de cables paralelos no se pueden utilizar para propagar señales de alta potencia porque el alto voltaje

asociado con ellas causa que el dieléctrico que separa los dos conductores se rompa. En consecuencia, las líneas de transmisión de cables paralelos son imprácticas para muchas aplicaciones de UHF y de microondas. Para esto, existen varias alternativas, incluyendo cables de fibra óptica y guías de onda.

En su forma más sencilla, una guía de onda es un tubo conductor hueco, por lo general con sección transversal rectangular, pero a veces circular o elíptica. Las dimensiones de la sección transversal se seleccionan de tal forma que las ondas electromagnéticas se propaguen dentro del interior de la guía (de ahí el nombre de guía de onda). Una guía de onda no conduce corriente en el sentido real, sino que sirve como un límite que confina la energía electromagnética. Las paredes de la guía están construidas de material conductor y por lo tanto, reflejan energía electromagnética en su superficie interior. Si la pared de la guía es un buen conductor y muy delgado, fluye poca corriente en las paredes interiores y, en consecuencia, se disipa muy poca potencia. En una guía de onda, la conducción de energía no ocurre en sus paredes, sino a través del dieléctrico existente en su interior. Por lo general, este dieléctrico es aire deshidratado o gas inerte.

En esencia, una guía de onda es análoga a un conductor de cable metálico con el interior removido. La energía electromagnética se propaga a lo largo de la guía reflejándose de un lado a otro en su interior, en un patrón de zigzag.

Al discutir el comportamiento de las guías de onda, es necesario hacerlo en términos de conceptos de campos electromagnéticos en lugar de corrientes y voltajes como ocurre para líneas de transmisión convencionales. El área de la sección transversal de una guía tiene que estar en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la señal que se está propagando; por tanto, la guía se restringe por lo general a frecuencias por arriba de 1 GHz.

Existen varios tipos de guías de onda, los más comunes son: guía rectangular, circular, acanalada y flexible. A continuación se describe, brevemente, cada una de ellas.

2.5.1.1. Guía de onda rectangular

Las guías de onda rectangulares son los tipos más comunes de guías de onda. Para entender como funciona una guía rectangular, es necesario comprender el comportamiento básico de las ondas que se reflejan en una superficie conductora.

La energía electromagnética se propaga a través del espacio libre como ondas electromagnéticas transversales (TEM) con un campo magnético, un campo eléctrico y una dirección de propagación asociados que son mutuamente perpendiculares. Para que una onda electromagnética exista en una guía de onda, deberán satisfacerse las ecuaciones de Maxwell en toda la guía. Sin embargo, un factor limitante de las ecuaciones de Maxwell es que una onda TEM no puede

tener una componente tangencial del campo eléctrico en las paredes de la guía de onda. Una onda no puede viajar directamente hacia abajo de una guía sin reflejarse a los lados, porque el campo eléctrico tendría que existir junto a la pared conductora. Si eso sucediera, el campo eléctrico haría corto circuito por las paredes en sí. Para propagar con éxito una onda TEM a través de la guía, la onda debe propagarse a lo largo de la guía en forma de zig-zag, con el campo eléctrico máximo en el centro de la guía y cero en la superficie de las paredes conductoras.

En las líneas de transmisión, la velocidad de las ondas es independiente de la frecuencia, y para dieléctricos de aire o vacío, la velocidad es igual a la velocidad en el espacio libre. Sin embargo, en las guías de onda la velocidad varía con la frecuencia. Además, es necesario distinguir entre dos tipos distintos de velocidad: *velocidad de fase* y *velocidad de grupo*. La velocidad de grupo es la velocidad a la que se propaga una onda dentro de la guía, y la velocidad de fase es la velocidad con la que la onda cambia de fase. . .

Otros conceptos importantes que deben conocerse cuando se trabaja con guías de onda es el concepto de *frecuencia de corte* y el de *longitud de onda de corte*. A diferencia de las líneas de transmisión convencionales, las cuales tienen un límite máximo de frecuencia de operación, las guías de onda tienen una frecuencia mínima de operación llamada *frecuencia de corte*. La frecuencia de corte es una frecuencia limitante absoluta; las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte no serán propagadas a través de la guía. En forma contraria, las guías de onda tienen una longitud de onda mínima que puede propagarse, la

cual es llamada *longitud de onda de corte*. La longitud de onda de corte se define como la longitud de onda del espacio libre más pequeña *incapaz* de propagarse en la guía de onda. En otras palabras, solamente las frecuencias con longitudes de onda menores a la longitud de onda de corte pueden propagarse a lo largo de la guía.. La frecuencia y la longitud de corte se determinan en base a las dimensiones de la sección transversal de la guía de onda.

La figura 17 muestra una vista de la sección transversal de una guía de onda rectangular con dimensiones a y b (normalmente a la a se le designa como la más ancha de las dos dimensiones). La dimensión a determina la frecuencia de corte de acuerdo con la siguiente relación matemática:

$$f_c = c/2a$$

donde f_c = frecuencia de corte (Hz)

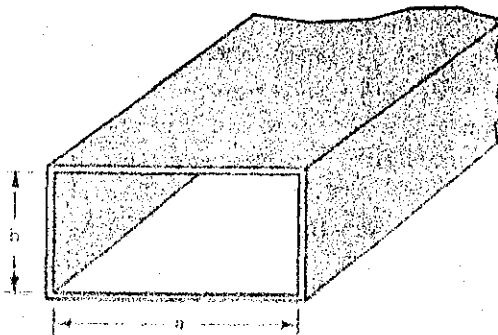
a = longitud de sección transversal (metros)

c = velocidad de la luz en el espacio libre

o, en términos de la longitud de onda : $\lambda_c = 2a$

donde λ_c = longitud de onda de corte (metros/ciclo)

figura 17. Vista de sección transversal de una guía de onda rectangular



Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 414.
Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.

Las dos ecuaciones anteriores indican que el punto de corte ocurre en la frecuencia para la cual la dimensión transversal más grande de la guía de onda es exactamente la mitad de la longitud de onda en el espacio libre.

La figura 18 muestra la vista superior de una sección de guía de onda rectangular e ilustra cómo las ondas electromagnéticas se propagan a lo largo de la guía. Para frecuencias arriba de la frecuencia de corte (figuras 18.a, b y c), las ondas se propagan a lo largo de la guía reflejándose de un lado al otro de la pared en varios ángulos. La figura 18.d muestra lo que sucede a la onda electromagnética en la frecuencia de corte.

2.5.1.2. Guía de onda circular

La guía de onda circular es por mucho la más común; sin embargo, ésta se utiliza en aplicaciones de radar y microondas, cuando es necesario o ventajoso propagar tanto ondas polarizadas verticalmente como horizontalmente en la misma guía de onda. La figura 19 muestra dos partes de una guía de onda circular unidas por una junta de rotación.

El comportamiento de las ondas electromagnéticas en la guía circular es prácticamente el mismo como en la guía rectangular.

La guía de onda circular es más fácil de fabricar que una guía rectangular y más fácil de unir. Sin embargo, la guía circular tiene un área transversal mucho más grande que una guía de onda rectangular equivalente utilizada para llevar la misma señal. Otra desventaja de la guía circular es que el plano de polarización puede rotar mientras que la onda se propaga a lo largo de ella (o sea, una onda polarizada horizontalmente se puede volver polarizada verticalmente y viceversa).

2.5.1.3. Guía de onda acanalada

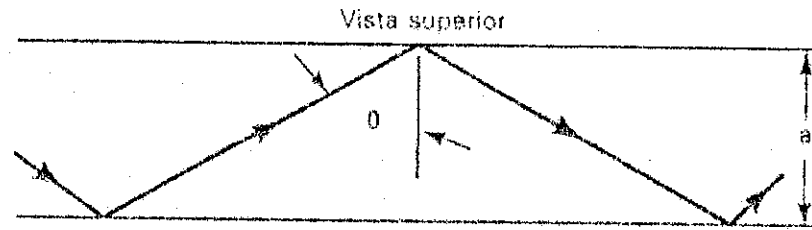
La figura 20 muestra dos tipos de guía de onda acanalada. La guía acanalada es más costosa de fabricar que la guía rectangular estándar; sin embargo, también permite la operación a frecuencias más bajas para un tamaño determinado que las que permite una guía rectangular. En consecuencia, son posibles dimensiones de la guía más pequeñas utilizando la guía acanalada.

Una guía acanalada tiene más pérdida por unidad de longitud que una guía rectangular. Esta característica combinada con el incremento de su costo limita su uso a aplicaciones especializadas.

2.5.1.4. Guía de onda flexible

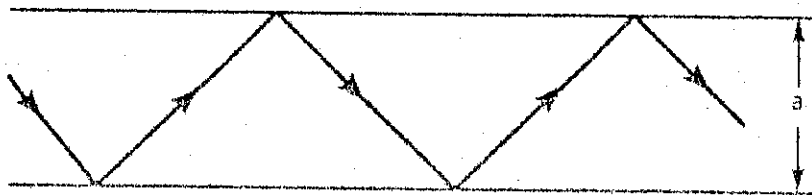
La figura 21 muestra una guía de onda rectangular flexible. La guía flexible consiste de listones de latón o cobre envueltos en espiral. La parte exterior está cubierta con una capa suave dieléctrica (casi siempre de hule) para mantener la guía hermética contra agua y aire. Pequeños pedazos de guía de onda flexible se utilizan en los sistemas de microondas cuando varios transmisores y receptores están interconectados a una unidad compleja para combinar o separar. Las guía de onda flexible también se utiliza extensamente en equipo para pruebas de enlaces de microonda.

Figura 18. Propagación en una guía rectangular



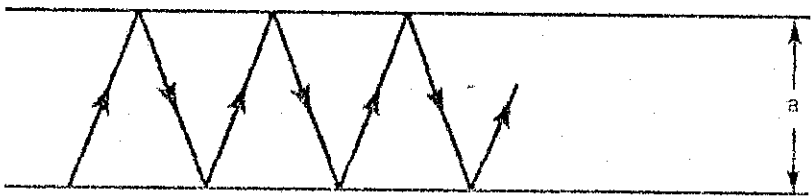
Frecuencia enormemente en exceso del punto de corte

(a)



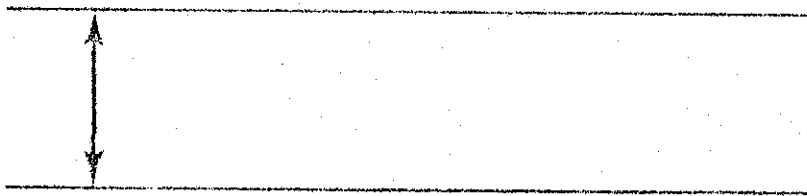
Frecuencia moderadamente en exceso del punto de corte

(b)



Frecuencia justo arriba del punto de corte

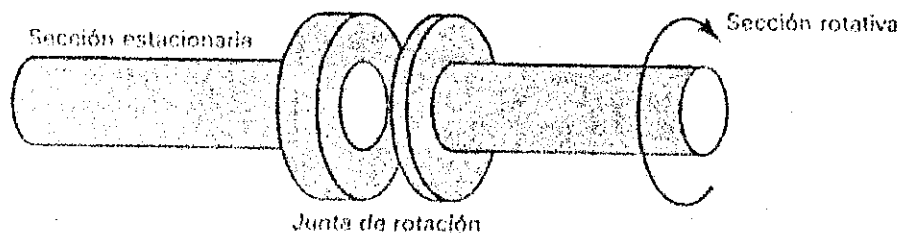
(c)



Frecuencia en el punto de corte

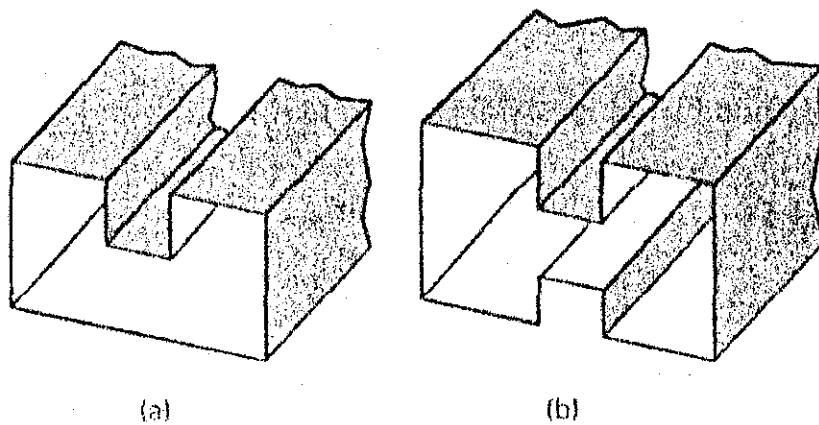
(d)

figura 19. Guía de onda circular con junta de rotación



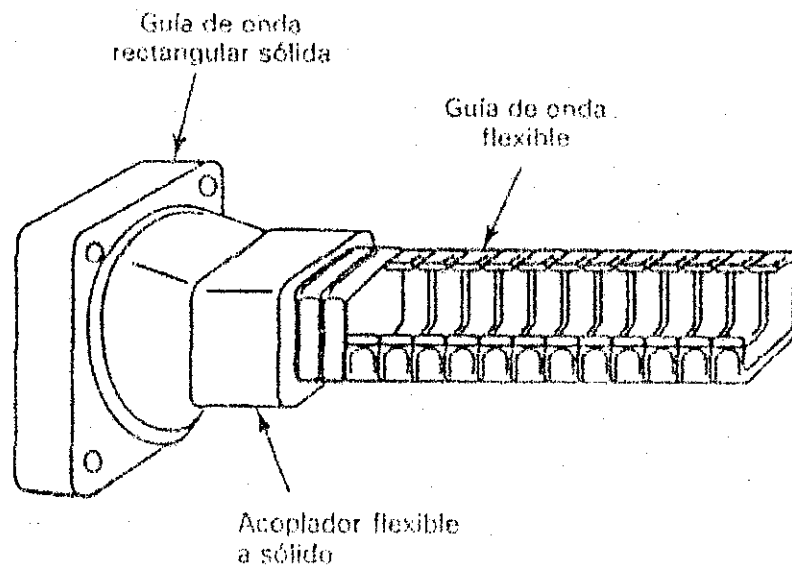
Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 420.
Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.

figura 20. Guía acanalada. (a) canal simple, (b) doble canal



Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 420.
Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.

figura 21. Guía de onda flexible



2.5.2. Antenas

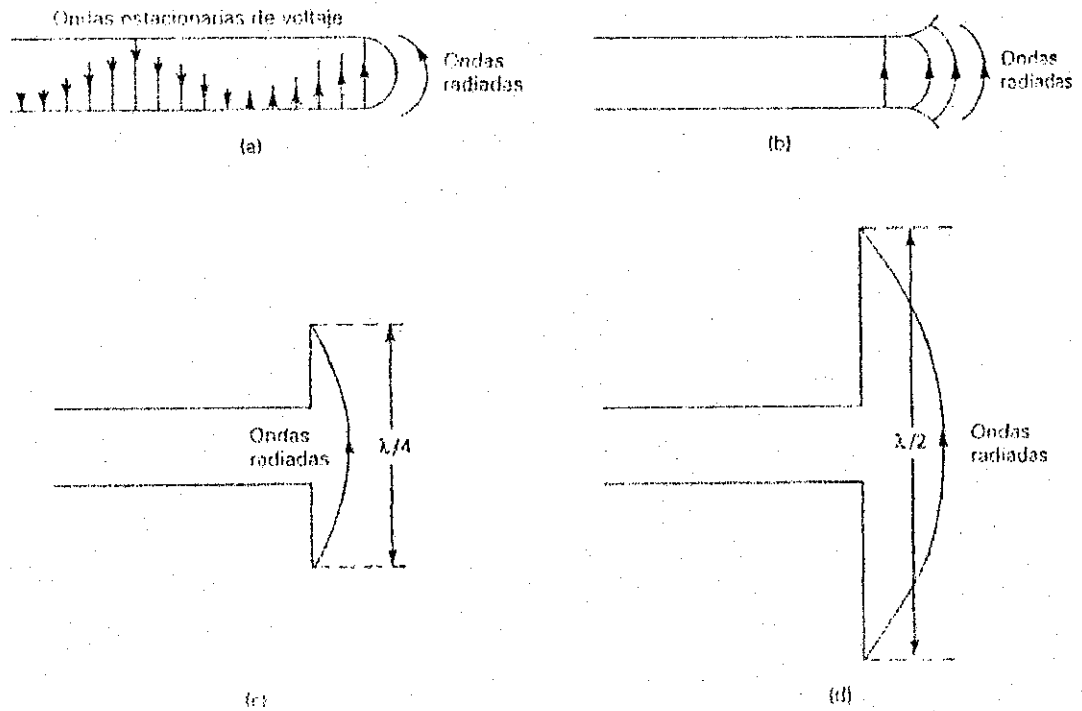
En esencia, una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas, mientras que una guía de onda es un tubo metálico por medio del cual se propaga energía electromagnética de alta frecuencia, por lo general entre una antena y un transmisor, un receptor o ambos. Una antena se utiliza como la interface entre un circuito transmisor y el espacio libre o el espacio libre y un circuito receptor. La guía de onda se utiliza para interconectar eficientemente una antena con el transreceptor asociado.

La operación básica de una antena puede entenderse al observar los patrones de ondas estacionarias de voltaje en una línea de transmisión, los cuales se muestran en la parte *a* de la figura 22. La línea de transmisión termina en un circuito abierto, que representa una discontinuidad abrupta en la onda de voltaje incidente en forma de una inversión de fase. La inversión de fase resulta cuando parte del voltaje incidente se irradia, en lugar de ser reflejado de nuevo a la fuente. La energía radiada se propaga lejos de la línea en forma de ondas electromagnéticas transversales.

La eficiencia de radiación de una línea de transmisión abierta es en extremo baja. La eficiencia de radiación es la relación entre la energía radiada y la energía reflejada. Para radiar más energía, sólo hay que separar más los conductores en el extremo abierto de la línea. Una antena así se llama *dipolo* (ver parte *b* de la figura 22).

En la parte c de la figura 22, los conductores están separados en línea recta una longitud total de un cuarto de longitud de onda. Dicha antena se llama *dipolo de un cuarto de onda básico* o *monopolo vertical*, o más comúnmente *antena Marconi*. Un dipolo de media onda se llama *antena Hertz* (ver figura 22.d).

figura 22. Radiación de una línea de transmisión: (a) radiación de la línea de transmisión, (b) conductores difusores, (c) antena Marconi, (d) antena Hertz



Para aplicaciones en la banda de microondas, se emplea un tipo especial de antenas, el cual, debido a sus características especiales permite radiar la energía electromagnética en forma direccional, es decir, focaliza la mayor cantidad de energía hacia un punto que generalmente es la parte frontal de la antena. Una antena de este tipo recibe el nombre de *antena parabólica*.

Antes de entrar más en detalle en lo referente a las antenas para microondas, se procederá a definir algunos de los parámetros más importantes que hay que tomar en cuenta a la hora de analizar una antena. Estos parámetros son: patrón de radiación, ganancia directiva y ganancia de potencia, resistencia de radiación, eficiencia de la antena, ancho del haz, ancho de banda y polarización de la antena.

2.5.2.1. Patrón de radiación

Un patrón de radiación es un diagrama polar o gráfica que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico o de la densidad de potencia, éste se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad de campo y la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia dado, es un patrón de radiación relativo.

En la parte *a* de la figura 23 se muestra un patrón de radiación absoluto, en el que el haz principal se encuentra en una dirección de 90° y se llama *lóbulo principal*. Puede existir más de un lóbulo principal. También hay un haz secundario o lóbulo menor en una dirección de -180° . Normalmente, los lóbulos menores representan radiación o recepción indeseada. Debido a que el lóbulo principal propaga y recibe la mayor parte de la energía, ese lóbulo se llama *lóbulo frontal*. Los lóbulos adyacentes al lóbulo frontal se llaman *lóbulos laterales* (el lóbulo menor en 180° es un lóbulo lateral), y los lóbulos que están en dirección exactamente opuesta al lóbulo frontal se llaman *lóbulos traseros* (en este patrón no se muestra ningún lóbulo trasero).

La relación de la potencia del lóbulo frontal con la potencia del lóbulo trasero se llama *relación frontal a trasero* o *relación frente/espalda*. La relación del lóbulo frontal al lóbulo lateral se llama *relación frontal a lateral*. La línea que divide el lóbulo principal desde el centro de la antena en la dirección de máxima radiación se llama *línea de tiro*.

La parte *b* de la figura 23 muestra un patrón de radiación relativo para la densidad de potencia en decibeles. En una dirección de $\pm 45^\circ$ de la referencia, la densidad de potencia es -3dB (media potencia) relativa a la densidad de potencia en la dirección de máxima radiación (0°).

Los patrones de radiación mostrados en la figura 23 están en dos dimensiones. Sin embargo, la radiación proveniente de una antena real es tridimensional. Por consiguiente, los patrones de radiación se toman en ambos planos, el horizontal (desde arriba) y el vertical (desde un lado).

2.5.2.2. Ganancia directiva y ganancia de potencia

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular y la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama directividad.

La ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena, o sea que se toma en cuenta la eficiencia de la antena. En el caso ideal de una antena que no tiene pérdidas, irradia el 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva.

2.5.2.3. Resistencia de radiación

No toda la potencia suministrada a la antena se irradia. Parte de ella se convierte en calor y se disipa por efecto Joule en la antena. Esto es debido a la existencia de una *resistencia de radiación*, la cual no puede ser medida directamente. La resistencia de radiación es una resistencia en AC de la antena y es igual a la relación de la potencia radiada y el cuadrado de la corriente en su punto de alimentación.

Matemáticamente, la resistencia de radiación está dada por:

$$R_r = P/i^2$$

donde R_r = resistencia de radiación (ohmios)

P = potencia radiada por la antena (watts)

i = corriente de la antena en el punto de alimentación
(amperios)

La resistencia de radiación es la resistencia que, si reemplazara a la antena, disiparía exactamente la misma cantidad de potencia de la que irradia la antena.

La eficiencia de una antena es la relación que existe entre la potencia radiada por la antena y la suma de la potencia radiada más la potencia disipada. Dicho de otra forma, es la relación de la potencia radiada por la antena y la potencia total de entrada a la misma.

Matemáticamente se expresa como:

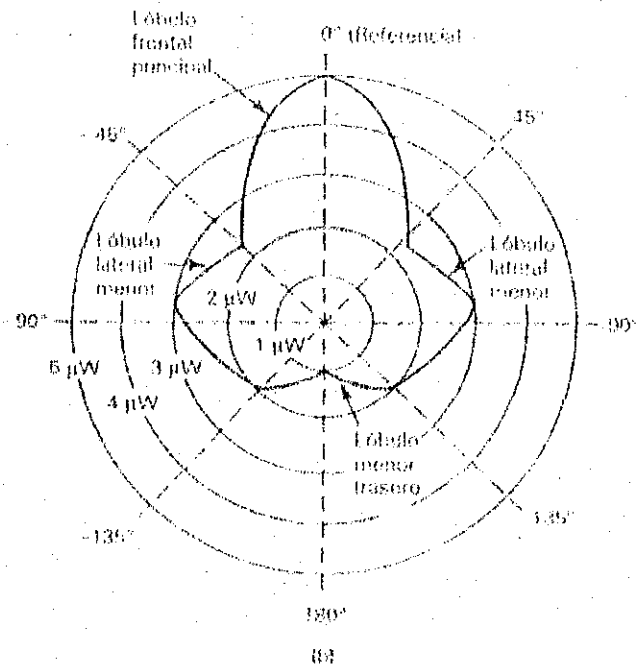
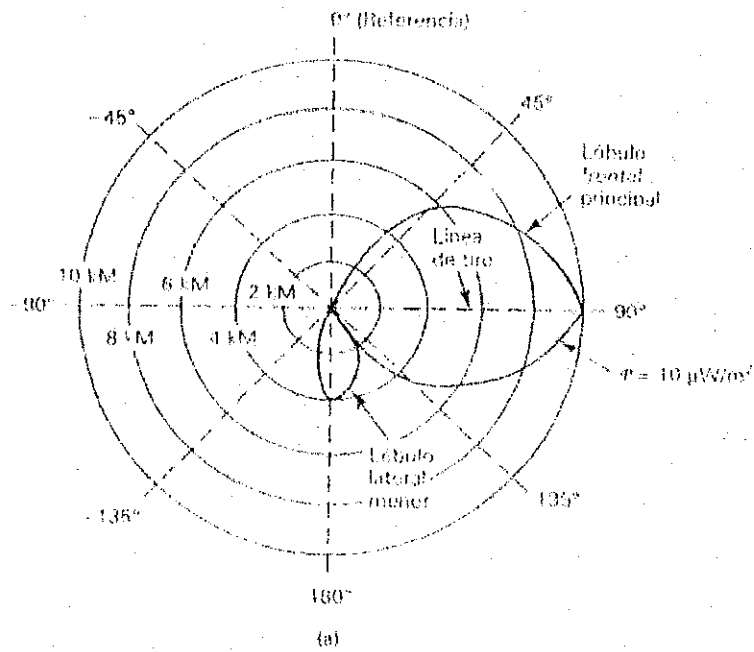
$$\eta = (Pr / (Pr + Pd)) \times 100$$

donde η = eficiencia de la antena

Pr = potencia radiada por la antena (watts)

Pd = potencia disipada en la antena (watts)

Figura 23. Patrones de radiación



Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 379. Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1996.

2.5.2.4. Ancho del haz de la antena

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomado en uno de los planos principales. El ancho del haz de la antena se llama ancho de haz de -3dB o ancho de haz de media potencia.

2.5.2.5. Ancho de banda de la antena

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es satisfactoria. Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

2.5.2.6. Polarización

La polarización de la antena se refiere la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal, por lo general, polarizada horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran en un plano horizontal o vertical. También puede ser polarizada ya sea en forma elíptica o en forma circular.

Una antena parabólica tiene una ganancia aparente porque concentra en un haz angosto la potencia irradiada en lugar de radiarla en forma uniforme en todas direcciones. El ancho del haz se reduce con los incrementos en la ganancia de la antena.

Las antenas utilizadas en la banda de las microondas (1 a 100 GHz) tienen que ser altamente directivas, y casi siempre tienen anchos de haz de media potencia del orden de 1° o menos. Un ancho de haz angosto minimiza los efectos de interferencia debida a fuentes externas y antenas adyacentes. Sin embargo, para transmisión de línea vista como las utilizadas con los radios de microondas, un haz angosto genera varios problemas, tal como la necesidad de estabilidad mecánica extrema en la alineación de la antena y el desvanecimiento.

Toda la energía electromagnética radiada por una antena de microondas no se difunde en la dirección del lóbulo principal (haz); parte se concentra en los lóbulos menores llamados lóbulos laterales, que pueden ser fuentes de interferencia en o desde otras trayectorias de señales de microondas. La figura 24 muestra la relación entre el haz principal y los lóbulos laterales para una antena de microondas típica, tal como un reflector parabólico.

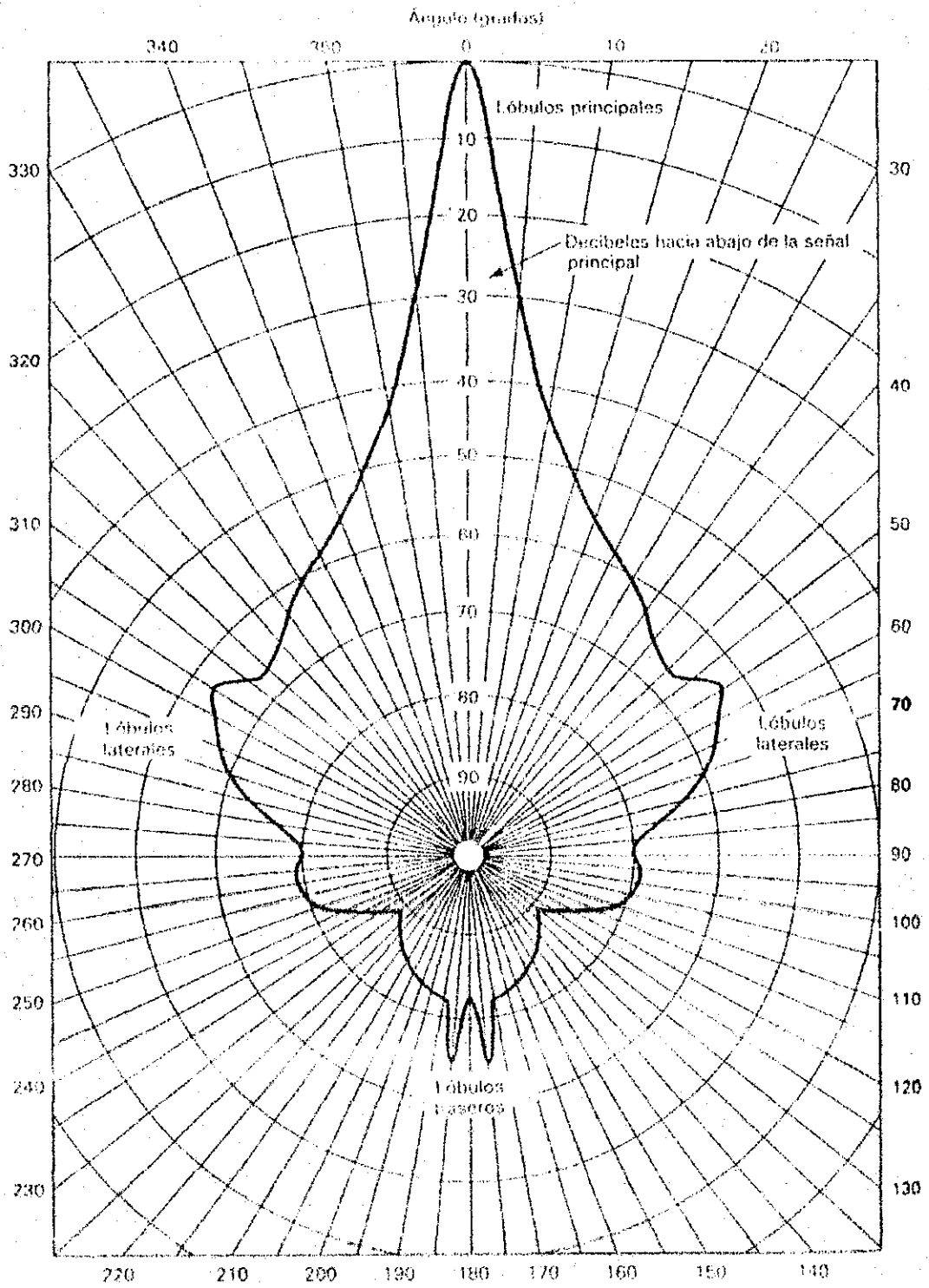
Las antenas altamente direccionales (alta ganancia) se utilizan en sistemas de microonda punto a punto. Al concentrar la energía de radio en un haz angosto que se puede dirigir hacia la antena receptora, la antena transmisora puede incrementar la potencia radiada efectiva por varias ordenes de magnitud sobre la de una antena no direccional. La

antena receptora también puede incrementar la potencia recibida efectiva por una cantidad similar. El tipo más común de antena utilizada para transmisión y recepción de microondas es el reflector parabólico.

Las antenas parabólicas proporcionan una ganancia y una directividad extremadamente altas y son muy populares para los enlaces de microondas y satelitales. Una antena parabólica se compone de dos partes principales: un reflector parabólico y el elemento activo llamado mecanismo de alimentación o simplemente alimentador. En esencia, el alimentador aloja la antena principal (por lo general un dipolo o una tabla de dipolo), que irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector. El reflector es un elemento pasivo que sólo concentra la energía irradiada por el alimentador en una emisión concentrada altamente direccional donde las ondas individuales están todas en fase entre sí (un frente de ondas en fase).

Una antena parabólica consiste de un reflector parabólico el cual focaliza la energía de microondas irradiada por un sistema de alimentación localizado en el punto focal de la parábola. Si se irradia energía electromagnética hacia el reflector desde el foco, todas las ondas irradiadas viajarán la misma distancia para cuando lleguen a la directriz, sin importar desde que punto de la parábola se hayan reflejado. Por tanto, todas las ondas irradiadas hacia la parábola desde el foco estarán en fase cuando lleguen a la directriz (línea WZ en la figura 25). En consecuencia, la radiación se concentra a lo largo del eje XY, y ocurre la cancelación en todas las direcciones.

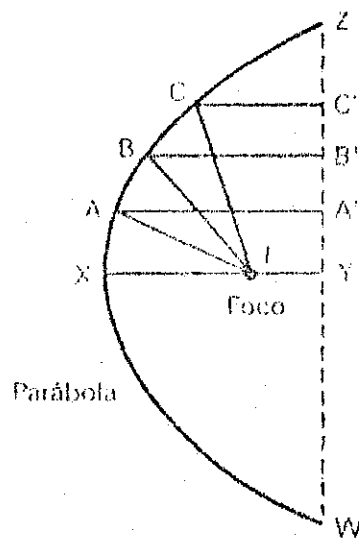
Figura 24. Haz principal y lóbulos de una antena para microondas



Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 404.
Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.

Un reflector parabólico utilizado para recibir energía electromagnética exhibe exactamente el mismo comportamiento. Por tanto, una antena parabólica exhibe el principio de reciprocidad.

Figura 25. Geometría de una parábola



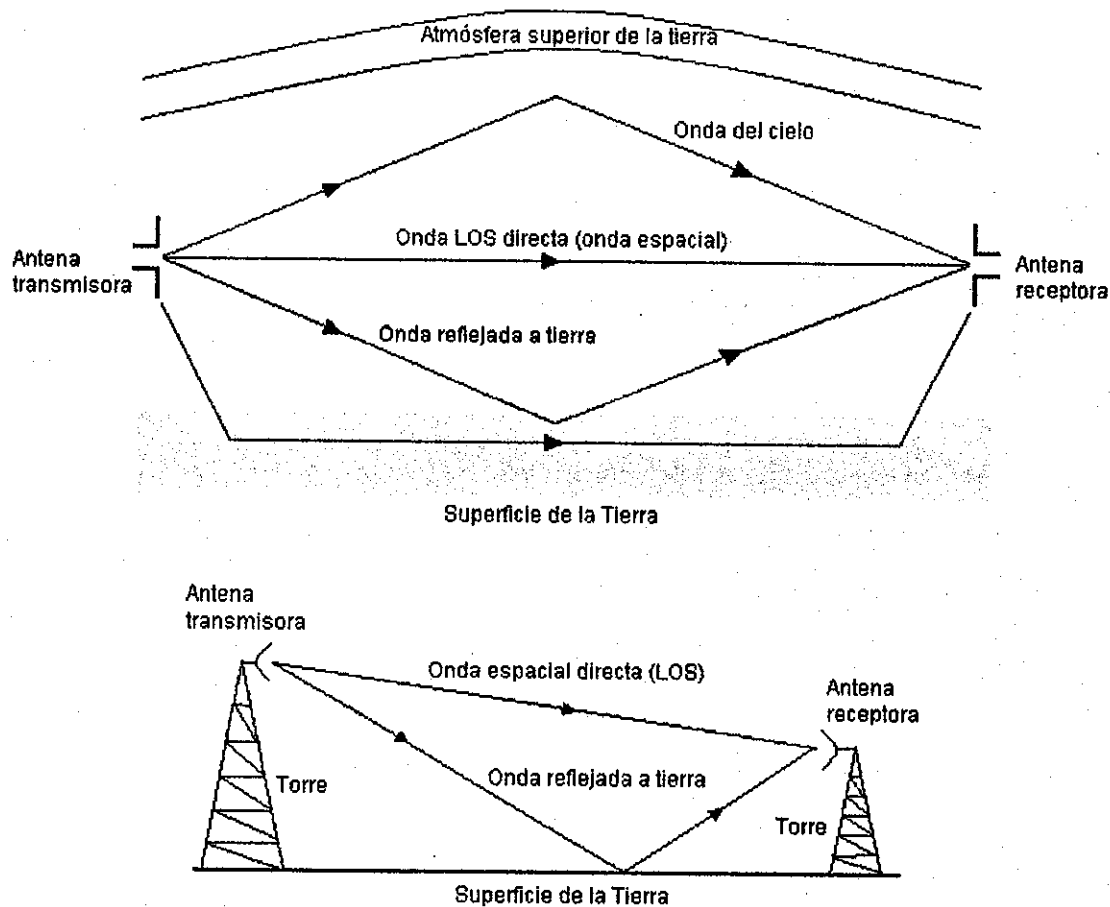
No es necesario que el plato o reflector tenga una superficie metálica sólida para reflejar o recibir las señales eficazmente. La superficie puede ser una malla y todavía reflejar casi tanta energía como si fuese una superficie sólida, siempre y cuando el ancho de las aberturas sea menor a 0.1 de la longitud de onda de la señal que se desea reflejar. Utilizar una malla en lugar de un conductor sólido reduce considerablemente el peso del reflector. Los reflectores de malla también son más fáciles de ajustar, los afecta menos el aire y, en general, proporcionan una estructura mucho más estable.

2.5.3. Trayectorias de propagación de las ondas en el espacio libre

Las trayectorias de propagación normales entre dos antenas en un sistema de microondas se muestra en la figura 26. La trayectoria de espacio libre es la trayectoria de *línea vista* existente entre la antena transmisora y la receptora. La *onda reflejada a tierra* es la porción de la señal transmisora que se refleja en la superficie de la Tierra y es capturada por la antena receptora. La onda de superficie consiste de campos eléctricos y magnéticos asociados con las corrientes inducidas por la superficie de la Tierra. La magnitud de la onda de superficie depende de las características de la superficie de la Tierra y de la polarización electromagnética de la onda. La suma de estas tres trayectorias (tomando en cuenta su magnitud y fase), se llama la onda de tierra. La onda de cielo es la porción de la señal transmisora que se refleja en las capas ionizadas de la atmósfera terrestre.

Todas estas trayectorias mostradas en la figura 26 existen en cualquier sistema de microondas, pero algunas son imperceptibles en ciertos rangos de frecuencia. Por esta razón, generalmente, la única trayectoria considerada en un enlace de microondas es la trayectoria de línea vista.

figura 26. Trayectorias de propagación

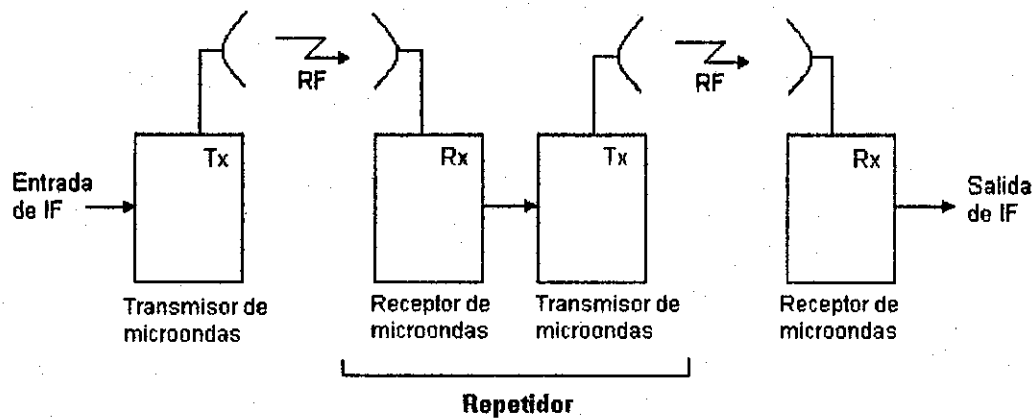


La distancia permisible entre un transmisor de microondas y su receptor asociado depende de algunas variables del sistema, tal como la potencia de salida del transmisor, el umbral de ruido del receptor, el terreno, condiciones atmosféricas, capacidad del sistema, objetivos de confiabilidad y las expectativas de funcionamiento. Típicamente, esta distancia está entre 25 y 65 kilómetros. Los sistemas de microondas de largo alcance abarcan distancias considerablemente más largas que éstas.

En condiciones prácticas, muchas veces se requieren enlaces de microondas con distancias tales que no podrían ser alcanzadas con sistemas de "un solo brinco", o hay ocasiones en las que, debido a alguna obstrucción física (tal como una montaña) no es posible tener línea vista entre las antenas del enlace. En estos casos se hace necesario la instalación de *repetidores*.

Un repetidor de microondas es un receptor y un transmisor colocados "espalda con espalda" o en tándem con el sistema. En la figura 27 se muestra el diagrama de bloques de un enlace con repetidor intermedio. La estación repetidora recibe una señal, la amplifica, le da nueva forma, y luego retransmite la señal al siguiente repetidor o estación terminal.

figura 27. Repetidor de microondas

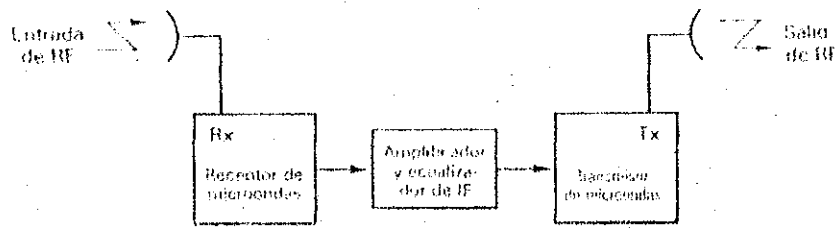


En principio, hay dos tipos de repetidores de microondas: *de banda base* y *de IF* (Intermediate Frequency = frecuencia intermedia). A los repetidores de IF también se les llama repetidores heterodinos. Con un repetidor de IF (parte *a* de la figura 28), la portadora de RF recibida se convierte en una señal de frecuencia intermedia (IF), se amplifica y, con nueva forma, se convierte de nuevo a una señal de RF. Posteriormente, esta señal de RF se transmite. La señal nunca se demodula, es decir, que nunca se tiene una señal en banda base. En consecuencia, la construcción de la señal en banda base no se modifica por el repetidor.

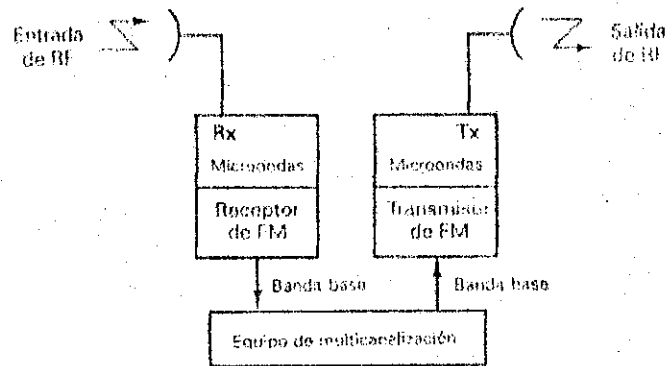
Con un repetidor de banda base (parte *b* de la figura 28), la portadora de RF recibida se convierte en una señal de IF, se amplifica, se filtra, y luego se demodula para obtener una señal en banda base. Una vez obtenida la señal en banda base, ésta es regenerada de modo que se tiene una señal igual a la que proviene del transmisor del punto remoto. Una vez que la señal en banda base se ha regenerado, se utiliza para modular una portadora de IF que a su vez se convierte en una señal de RF que luego se retransmite.

La parte *c* de la figura 28 muestra otra configuración para un repetidor de banda base.

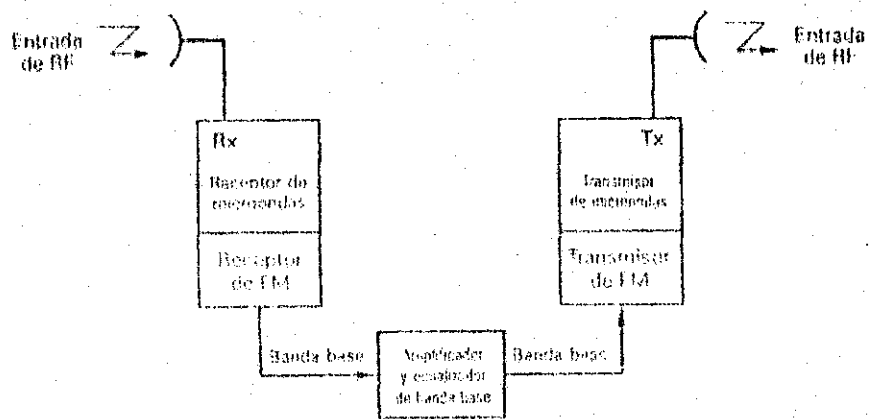
Figura 28. Repetidores de microondas: (a) IF; (b) y (c) repetidores de banda base



(a)



(b)



(c)

Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 695.
Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.

2.5.4. Sistemas de protección

El rápido crecimiento de las comunicaciones y el requerimiento de que éstas sean cada vez más confiables y eficientes impone la necesidad de implementar sistemas de protección y respaldo que permitan tener radio enlaces con características que satisfagan los requerimientos existentes en el mercado de las telecomunicaciones.

Las funciones principales de estos sistemas de protección son: a) minimizar las interrupciones en los servicios de comunicación al conmutar de un canal de trabajo a un canal de protección en el caso de presentarse alguna falla en el equipo, y b) minimizar los efectos de desvanecimiento causados por el efecto denominado como "*multipath fading*".

Para poder elegir el tipo de sistema de protección necesario para cada aplicación específica, es necesario tomar en cuenta diversos factores, entre ellos: la disponibilidad del sistema, tipo de servicio (telefonía, datos, televisión, etc.), nivel de mantenimiento, etc.

2.5.4.1. Diversidad

Los sistemas de microondas utilizan transmisión de línea vista. Es necesario que haber una ruta de señal directa, de línea vista, entre las antenas de transmisión y recepción. En consecuencia, si esa ruta de señal experimenta una degradación, ocurrirá una interrupción del servicio.

La diversidad sugiere que hay más de una ruta de transmisión o método de transmisión disponible entre un transmisor y un receptor.

En un sistema de microondas, el propósito de utilizar la diversidad es incrementar la confiabilidad del sistema incrementando su disponibilidad. Cuando hay más de una ruta de transmisión o método de transmisión, el sistema puede seleccionar la ruta o método que produce la señal de más alta calidad recibida. Aunque hay muchas formas de lograr la diversidad, los métodos más comunes que se utilizan son la frecuencia, el espacio y la polarización.

2.5.5. Esquemas de protección típicos

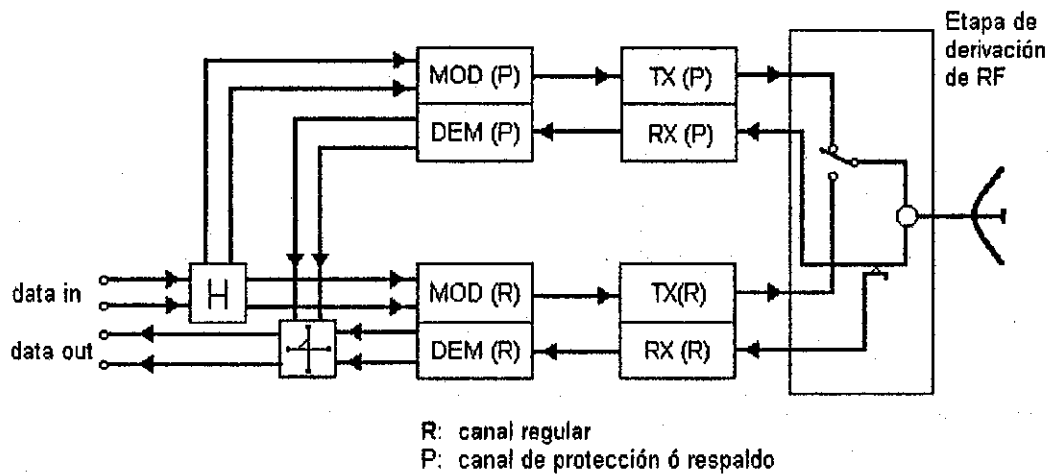
A continuación se describe brevemente los principales esquemas de protección, aunque, dependiendo de las necesidades específicas de cada aplicación, pudiera aplicarse un esquema de protección híbrido, es decir, una combinación de los que a continuación se listan.

2.5.5.1. Protección Hot-Standby

Este esquema es aplicable generalmente en enlaces de radio digital de baja densidad. En la figura 29 se muestra una configuración Hot-Standby típica .

Como se ilustra en la figura 29 el esquema de protección Hot-Standby conlleva el uso de un transmisor y un receptor en una configuración Hot-Standby. Puede verse que la señal en banda base proveniente de un multiplexor u otro medio de transmisión es dividida en dos partes, una de las cuales alimenta al modulador y al transmisor regular y la otra parte alimenta al modulador y transmisor de protección.

Figura 29. Esquema de protección Hot-Standby



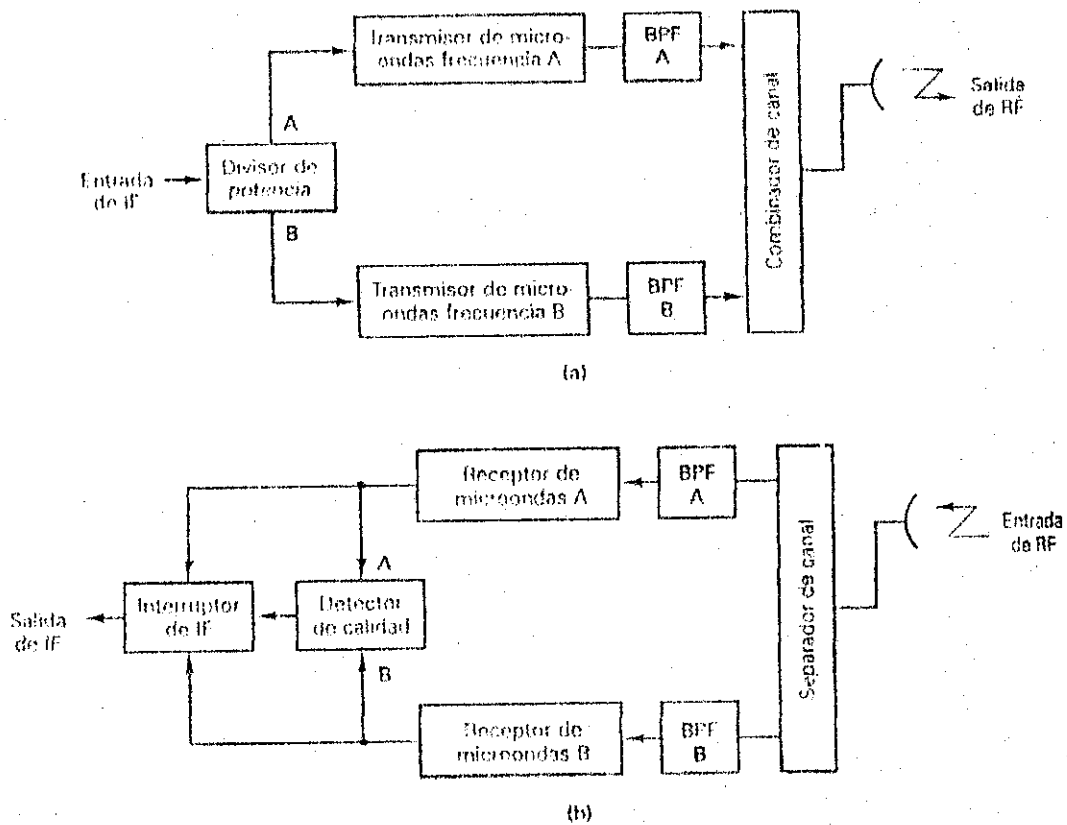
2.5.5.2. Diversidad de frecuencia

La diversidad de frecuencia es la modulación de dos frecuencias diferentes de portadora de RF con la misma señal de IF, para luego transmitir ambas señales de RF a un destino determinado. En el destino, ambas portadoras son demoduladas, y la que dé la señal de IF de mayor calidad es la que se selecciona. La figura 30 muestra un sistema de microondas de un solo canal con diversidad de frecuencia.

En la figura 30.a, la señal de entrada de IF alimenta a un divisor de potencia, el que la dirige a los transmisores de microonda A y B. Las salidas de RF de los dos transmisores se combinan en la red de combinación de canal y alimentan a la antena de transmisión. En el extremo receptor (figura 30.b), el divisor de canales dirige las portadoras de RF, A y B, a sus receptores de microonda respectivos, en donde se convierten en señales de IF. El circuito detector de calidad determina que canal tiene mayor calidad y dirige ese canal a través del interruptor de IF hacia el demodulador. En la salida del demodulador se obtendrá una señal en banda base.

Muchas de las condiciones atmosféricas adversas que degradan una señal de RF son selectivas en lo que a frecuencias se refiere; pueden degradar una frecuencia más que otra. Por lo tanto, en un período de tiempo determinado, el interruptor de IF puede cambiarse del receptor A al receptor B, y viceversa, dependiendo de las condiciones atmosféricas predominantes.

Figura 30. Sistema de microondas con diversidad de frecuencia;
 (a) transmisor; (b) receptor



Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 696.
 Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.

2.5.5.3. Diversidad de espacio

Con la diversidad de espacio, la salida de un transmisor alimenta a dos o más antenas que están separadas físicamente por un número apreciable de longitudes de onda. En forma similar, en el extremo receptor, puede haber más de una antena proporcionando la señal de entrada al receptor. Si se utilizan múltiples antenas receptoras, también deben estar separadas por un número apreciable de longitudes de onda. La figura 31 muestra un sistema de microonda de un solo canal con diversidad de espacio.

Cuando se utiliza la diversidad de espacio, es importante que la distancia eléctrica del transmisor a cada una de sus antenas y del receptor a cada una de sus antenas sea un múltiplo de la longitud de onda de la portadora de RF. Esto permite asegurar que cuando dos o más señales de la misma frecuencia llegan a la entrada del receptor, estén en fase y se puedan agrupar sin problema. Si se reciben fuera de fase, se cancelarán y, en consecuencia, se recibirá una señal con menor potencia que la que se recibiría si se utilizara simplemente un grupo de antenas (una en cada extremo del enlace).

Las condiciones atmosféricas adversas frecuentemente se limitan a un área geográfica muy pequeña. Con la diversidad de espacio, hay más de una ruta de transmisión entre un transmisor y un receptor. Cuando existen condiciones atmosféricas adversas en una de las rutas, es poco probable que la ruta alterna esté experimentando la misma degradación. En consecuencia, la probabilidad de recibir una señal

aceptable es mayor cuando se utiliza la diversidad de espacio que cuando no se utiliza ninguna diversidad. Un método alternativo de diversidad de espacio utiliza una sola antena de transmisión y dos antenas receptoras separadas verticalmente. Dependiendo de las condiciones atmosféricas en un momento determinado, una de las antenas receptoras deberá recibir una señal adecuada.

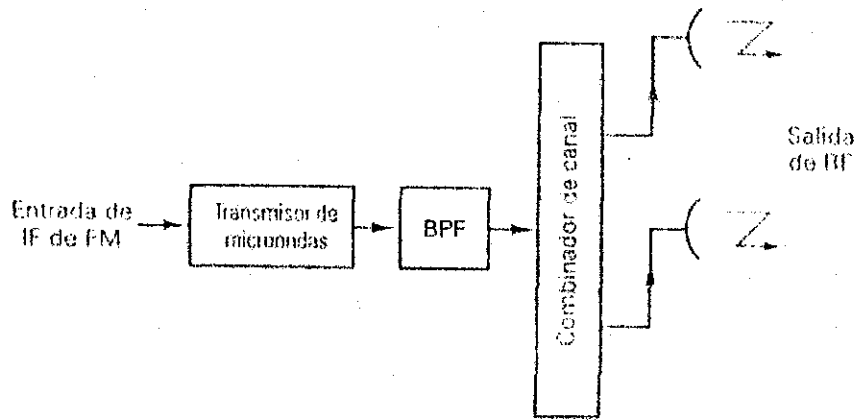
2.5.5.4. Diversidad de polarización

Con la diversidad de polarización, una sola portadora de RF se propaga con dos diferentes polarizaciones electromagnéticas (vertical y horizontal). Las ondas electromagnéticas de diferentes polarizaciones no necesariamente experimentan el mismo deterioro en la transmisión frente a condiciones atmosféricas adversas.

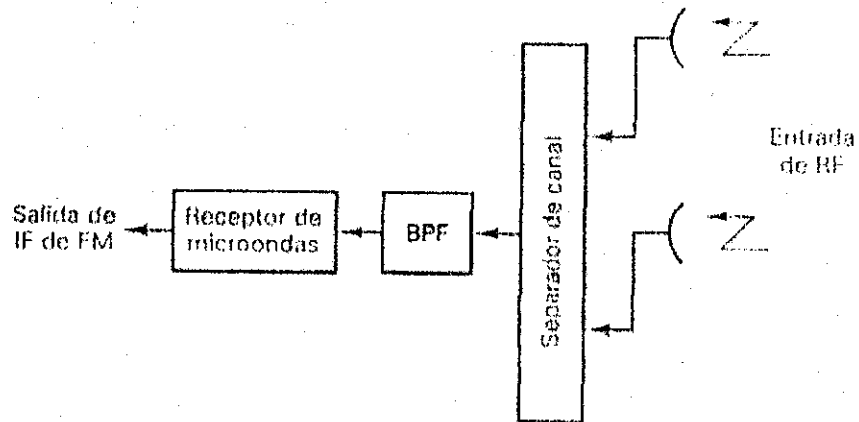
La diversidad de transmisión generalmente se utiliza en conjunción con la diversidad de espacio. Las antenas de una trayectoria se polarizan verticalmente y las de la otra trayectoria se polarizan horizontalmente. También es posible utilizar simultáneamente la diversidad de frecuencia, espacio y polarización.

figura 31. Sistema de microondas con diversidad de espacio:

(a) transmisor; (b) receptor



(a)



(b)

Tomada del libro titulado **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 2da. edición. Pág. 697.
Escrito por Wayne Tomasi. México: Prentice Hall, 1,996.

3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL

3.1. Introducción

Para poder implementar un sistema SCADA se hace imprescindible contar con toda una infraestructura de telecomunicaciones que sea altamente confiable y eficiente y que además se constituya en el vínculo entre cada uno de los puntos administrables (estaciones remotas) y el punto de administración (estación maestra).

Para el caso particular del INDE, las estaciones remotas tienen dos funciones principales; éstas son:

- a) monitorear los distintos parámetros operativos del Sistema Nacional Interconectado (SNI). Ejemplos de estos parámetros son: la potencia, el factor de potencia y la corriente. Cada remota está situada en un punto estratégico (estación generadora o subestación) dentro del SNI.
- b) Interpretar y ejecutar los comandos operativos provenientes de la estación maestra asociada.

La estación maestra es la responsable de administrar todo el sistema. Esto lo logra al recibir información proveniente de las remotas asociadas para luego procesarla y generar los comandos operativos pertinentes.

No se entrará en más detalle en lo que respecta al funcionamiento del sistema SCADA, pues sale del enfoque que se pretende dar al presente trabajo de tesis.

La infraestructura de telecomunicaciones con la que cuenta el INDE se encuentra conformada por tres sub-sistemas que son:

- Red de equipo PLC
- Red de radios en bandas VHF y UHF
- Red de equipo de microonda

Se entrará en detalle solo en lo referente a la red de microonda.

3.2. Descripción y características principales de la red de microonda

La red de microonda del INDE actualmente es una red punto a punto con respaldo en caliente 1 + 1 (Hot-Standby), que opera en la banda de 2 GHz con modulación PSK. Esta red está conformada por cinco estaciones que son:

1. Guatemala Sur
2. Guatemala Este
3. Soledad Grande
4. Volcán de Agua
5. Ahuachapán (situada en territorio salvadoreño)

La red cuenta con un canal de servicio que conecta "hot-line" las estaciones entre sí. La función de este canal es permitir la comunicación de voz entre las estaciones con el fin de facilitar las tareas de mantenimiento. La señal de audio generada por el canal de servicio modula en frecuencia (FM) a la portadora de RF generada por el oscilador de cavidad resonante asociado al transmisor de cada radio de microonda.

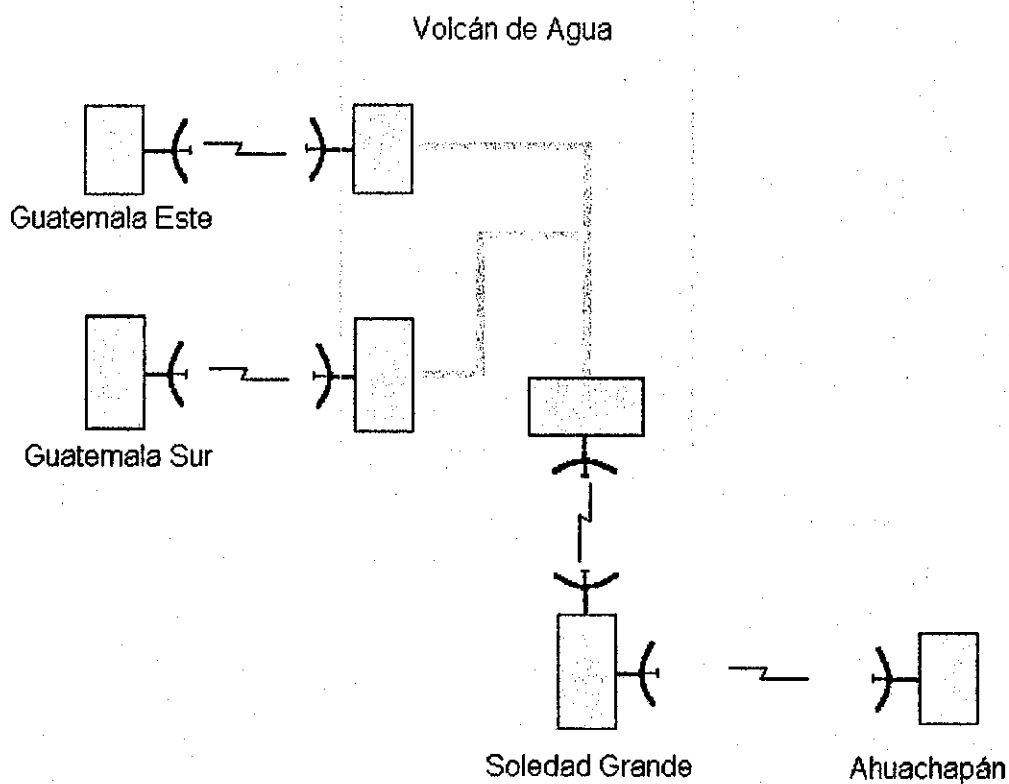
Se cuenta con un sistema de monitoreo denominado *grupo supervisorio (supervisory group)*, el cual se encarga de sensar en todo tiempo los parámetros operativos de cada uno de los equipos instalados en cada una de las estaciones de radio. En caso de que alguno de los equipos falle o algún parámetro operativo salga del rango permisible para el buen funcionamiento del enlace, el grupo supervisorio automáticamente conmutará del radio regular al radio de respaldo para que no se interrumpa el flujo de información en esa parte de la red. Además de esto, generará las señales de alarma que sean pertinentes.

Aparte del grupo supervisorio, existe otro equipo conocido como Larse, el cual se encarga de trasladar, a través del canal de servicio, los estados de alarma generados por los equipos integrantes de la red desde

cada una de las estaciones hacia un panel de alarmas central en el cual es posible observar el estado operativo de todo el sistema. Este panel de alarmas se encuentra localizado en la sala de relés de la subestación Guatemala Sur.

La figura 32 presenta un diagrama esquemático de toda la red de microonda.

figura 32. Red de microonda



Seguidamente, se procederá a explicar más en detalle como operan y la forma en que interaccionan entre sí cada uno de los equipos en las distintas estaciones de la red.

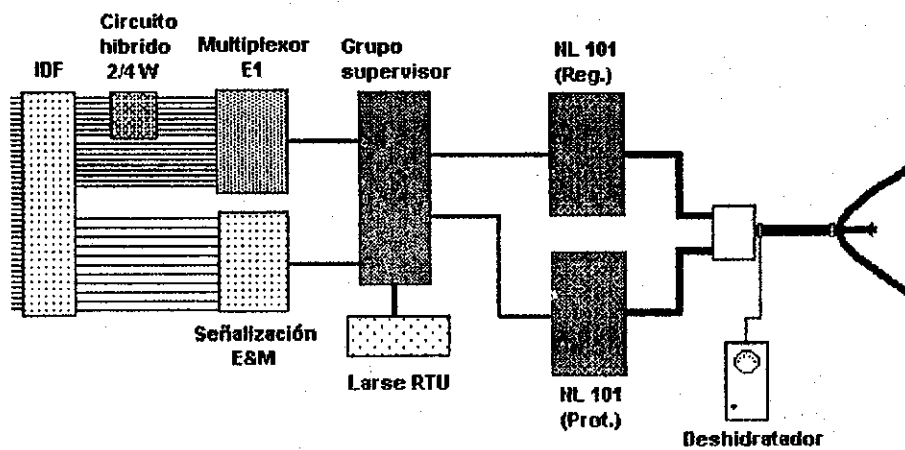
3.3. Estación Guatemala Este

Los elementos que pueden considerarse como parte integrante de la estación Guatemala Este son:

- radio NL101 regular
- radio NL101 de respaldo
- multiplexor E1 primario
- modulo de señalización E&M
- modulo híbrido 2/4 hilos
- panel de interconexiones (IDF)
- grupo supervisorio
- modulo remoto larse
- deshidratador
- cable coaxial Heliac
- antena parabólica
- banco de baterías

En la figura 33 se presenta una topología de la estación Guatemala Este.

figura 33. Estación Guatemala Este



Un multiplexor E1 primario es capaz de multiplexar y demultiplexar 30 canales de audio. Las conexiones a cada uno de estos 30 canales se realiza en el panel de interconexión denominado IDF (Intermediate Data Frame). Es posible conectar tanto circuitos de 2 hilos como de 4 hilos con señalización E&M y 600 ohmios de impedancia.

El multiplexor E1 de 30 canales tiene como estándar circuitos de cuatro hilos a 600 ohmios. La función del módulo híbrido es, precisamente, acoplar el multiplexor a aquellos circuitos externos que requieran conexión a dos hilos; es decir, que el híbrido permite la conexión al multiplexor de equipo que trabaja con interface de dos hilos. El equipo está alambrado de tal forma que en IDF están disponibles algunos canales con conexión a dos hilos y el resto con conexión a cuatro hilos.

Los treinta canales pueden contener información proveniente, por ejemplo, de una línea telefónica o de una estación remota que genera una señal de audiofrecuencia FSK. Esta información, que es puramente analógica, es transformada en un tren de pulsos digitales.

Los pasos a seguir para convertir una señal analógica a una señal digital son: muestreo, cuantificación y codificación.

Después de la conversión analógico-digital, los 30 trenes de pulsos (señales digitales, cada uno con una rata de 64 Kbps, son multiplexados para dar origen a una sola señal con una rata de 2,048 Kbps. Este proceso es realizado por el equipo multiplexor.

Para propósitos de aminorar perdidas debidas a la transmisión a través del medio fisico existente entre el multiplexor y el radio, la señal de 2,048 Kbps es codificada en código HDB-3.

Antes de llegar al equipo de radio NL101, la señal de 2,048 Kbps pasa por el grupo supervisorio, el cual tiene circuitos que permiten regenerar y acoplar la señal proveniente del multiplexor en cable coaxial (75 ohmios de impedancia) al circuito de entrada del radio (120 ohmios de impedancia balanceada).

Después de haber sido regenerada, la señal de 2,048 kbps modula una portadora de RF, dando esto origen a una señal PSK en la banda de 2 GHz.

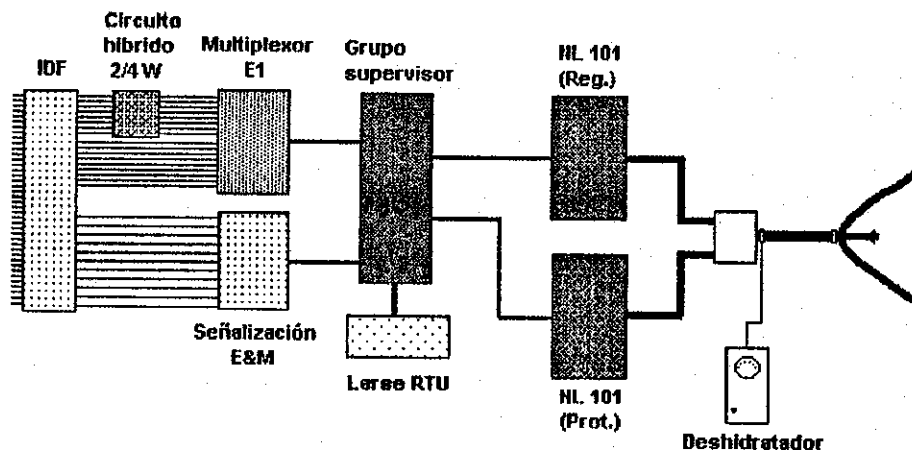
La portadora de RF es generada por un oscilador de cavidad resonante. Hay que hacer notar que la señal originada por el canal de servicio modula en frecuencia a esta misma portadora.

La señal modulada resultante es amplificada hasta alcanzar un valor de alrededor de + 30 dBm (1 watt). Posteriormente esta señal pasa a través de una sucesión de filtros, con lo que se consigue eliminar todas aquellas espurias que pudiesen generarse en el proceso de modulación y que están fuera de un ancho de banda de 2 MHz. Esta señal de microondas resultante es transportada a la antena por medio de una línea de transmisión de cable coaxial tipo Heliax con bajas perdidas en la banda de 2 GHz. Este tipo de cable requiere un cuidado especial debido a que si a su interior penetra humedad, se generarán perdidas que van en detrimento del funcionamiento del sistema. Por esta razón se emplea un dispositivo denominado *deshidratador*, el cual introduce aire caliente a alta presión al interior del cable. Esto evita que penetre la humedad

3.4. Estación Ahuachapán

Esta estación es igual a la estación Guatemala Este. Esta conformada por los mismos elementos y, en principio, opera en forma exactamente igual.

Figura 34. Estación Ahuachapán



3.5. Estación Guatemala Sur

Esta estación opera bajo los mismos principios descritos para las estaciones anteriores, pero tiene ciertas características que la hacen diferentes a sus predecesoras.

Esta estación opera en el nivel tres de la jerarquía E1, es decir, que emplea un multiplexor terciario (de tercer orden) el cual multiplexa cuatro líneas digitales de 8,448 Kbps para dar origen a una línea de 34,368 Kbps. Cada línea de 8,448 Kbps es generada por un multiplexor secundario (de segundo orden) que permite multiplexar 4 líneas de 2,048 Kbps provenientes de multiplexores primarios.

Si el sistema operase a su máxima capacidad, sería posible multiplexar hasta 480 canales de audio (de 64 kbps cada uno). Para que esto se dé, es necesario instalar un total de 4 multiplexores secundarios y 16 primarios por cada multiplexor terciario.*

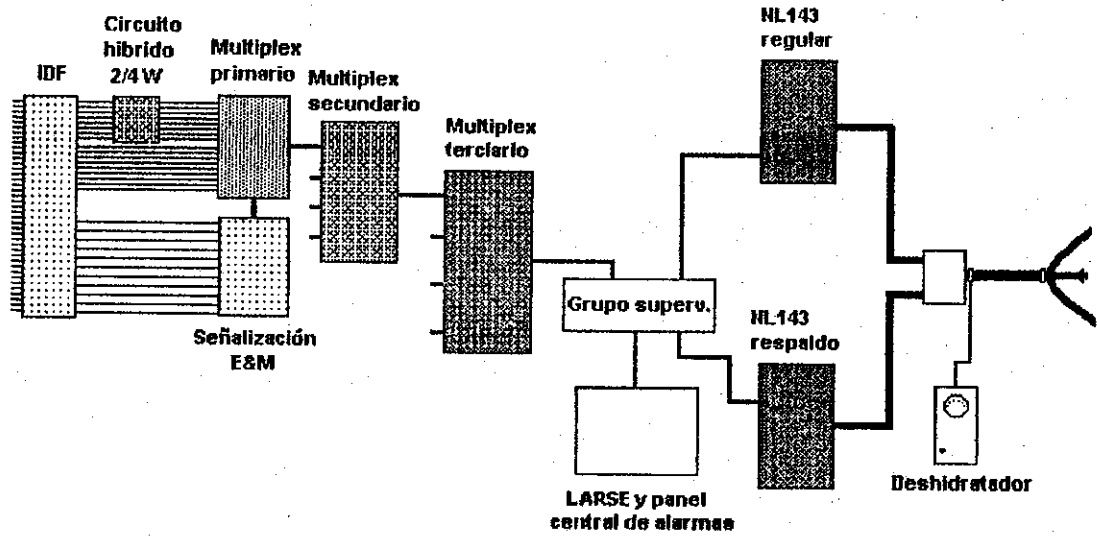
Actualmente el sistema opera únicamente con un multiplexor secundario y uno primario por cada multiplexor terciario, por lo que su capacidad se limita a un máximo de 30 canales de audio. En esta estación se encuentran instalados dos radios NL143 configurados en topología 1 + 1.

* Hay que tomar en cuenta que para poder trabajar con los 480 canales es necesario modificar la configuración tanto en Guatemala Sur como en el Volcán de Agua.

El NL143 tiene la capacidad de operar a una rata de 34,368 Kbps. Este tren digital modula una portadora de RF en la banda de 2GHz con modulación 4PSK.

La figura 35 presenta un diagrama esquemático de ésta.

figura 35. Estación Guatemala Sur



En una parte del ancho de banda designado para el canal de servicio se encuentra contenida la información proveniente de las remotas Larse instaladas en Guatemala Este, Soledad Grande, Ahuachapán y el Volcán de Agua. Esta información, más la proveniente del grupo supervisorio instalado en Guatemala Sur es procesada por el equipo Larse central con el fin de desplegar las alarmas de toda la red en el panel central de alarmas instalado en Guatemala Sur.

3.6. Estación Soledad Grande

Esta estación sirve como punto de repetición entre Ahuachapán y el Volcán de Agua. Debido a que la distancia que separa estas dos estaciones es bastante grande, es necesario que la señal que las comunica pase a través de un punto de repetición en Soledad Grande para ser regenerada y se eleve su nivel de potencia con el fin de que llegue a su destino final con un nivel aceptable.

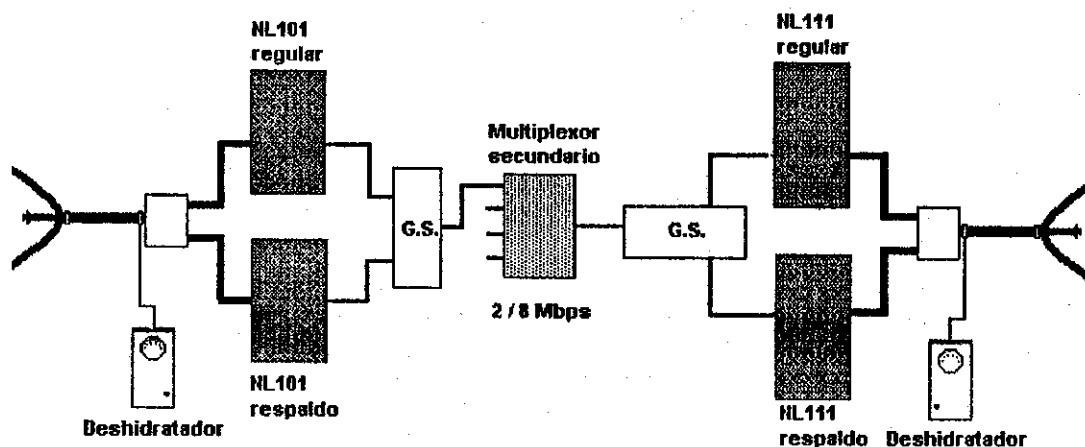
Soledad Grande está configurada como *repetidora en banda base con protección 1 + 1*.

La sección que tiene línea vista hacia Ahuachapán emplea dos radios NL101, por lo que tiene la capacidad de manejar 2,048 Kbps (30 canales).

Los 2,048 Kbps provenientes de Ahuachapán son introducidos al multiplexor secundario asociado a los dos radios NL111 cuya antena apunta hacia el Volcán de Agua.

Aunque la parte que apunta hacia el Volcán de Agua opera con un multiplexor secundario, actualmente no es posible hacer uso de los 120 canales (8,448 Kbps) debido a que solo se encuentra instalado un multiplexor primario en vez de los cuatro que podrían instalarse.

figura 36. Estación Soledad Grande



3.7. Estación Volcán de Agua

Esta estación puede considerarse como un nodo, ya que a esta llega la información proveniente Ahuachapán (a través de Soledad Grande) y de Guatemala Este y se dirige hacia Guatemala Sur. De igual forma, la información proveniente de Guatemala Sur es ruteada ya sea hacia Guatemala Este o hacia Ahuachapán.

Dependiendo de las conexiones realizadas en el IDF es posible que información proveniente de Guatemala Sur sea ruteada hacia Ahuachapán, y viceversa. La figura 37 presenta un diagrama ilustrativo de los posibles flujos de información, mientras que la figura 38 muestra un diagrama esquemático de la topología de la estación.

figura 37. Flujos de información en la red

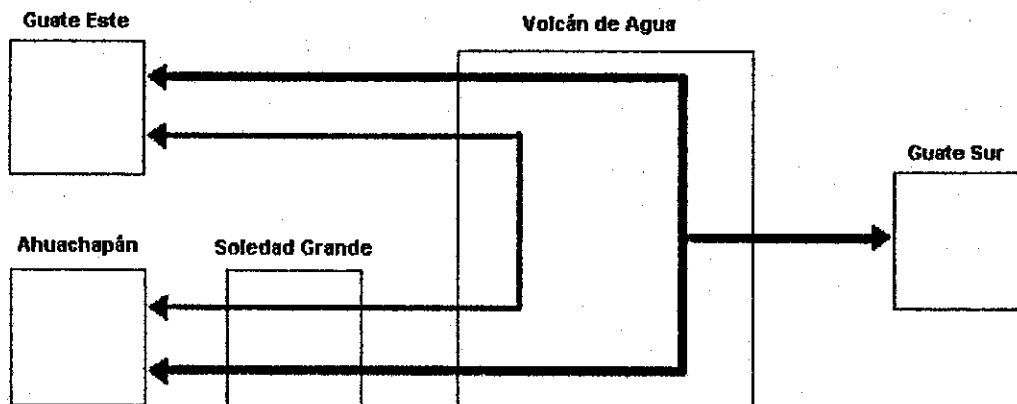
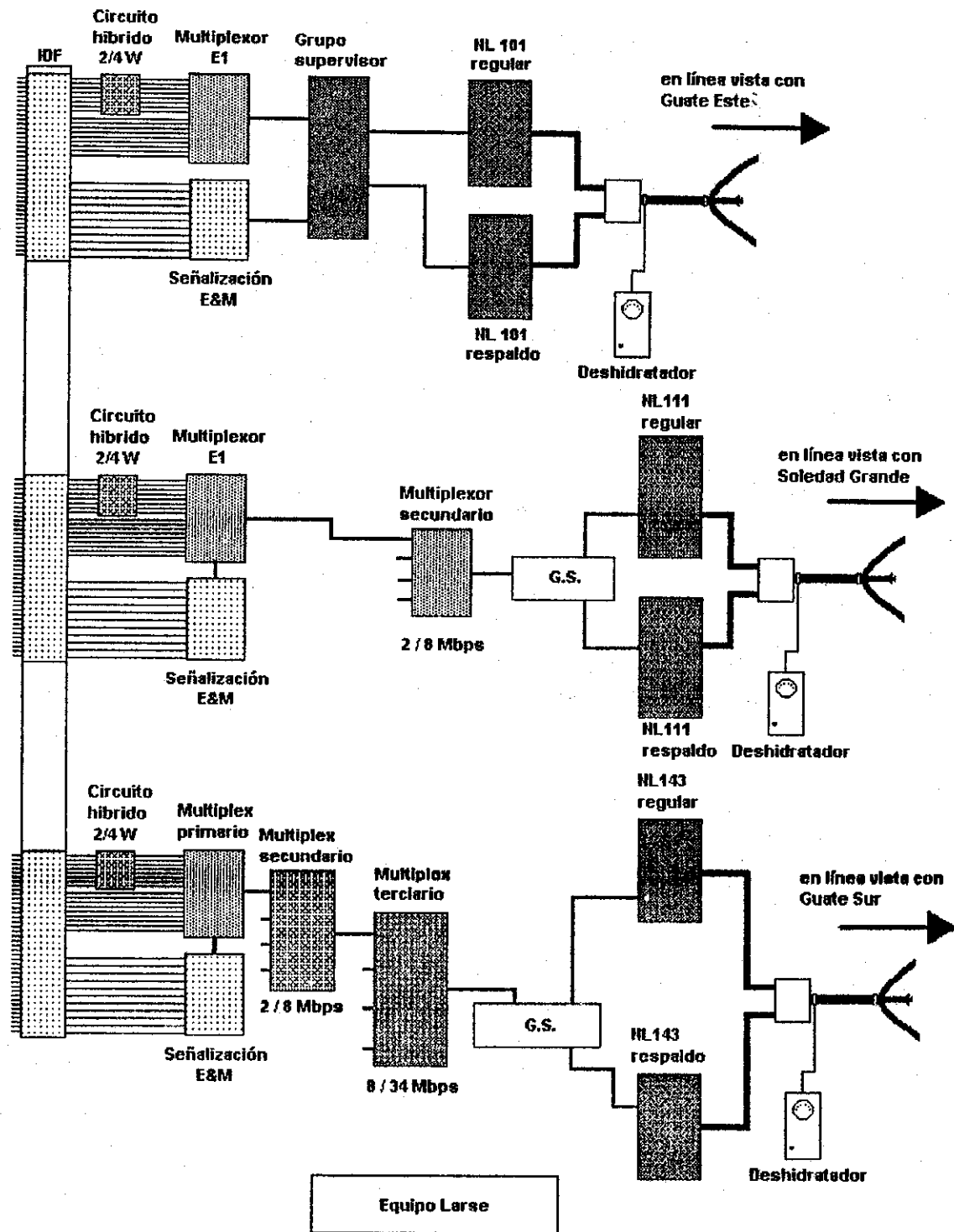


figura 38. Estación Volcán de Agua



4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PUNTO A MULTIPUNTO

4.1. Introducción

Con la implementación del sistema SCADA, la necesidad de comunicación confiable y eficiente para el INDE ha aumentado. Siendo el SCADA el sistema encargado de controlar el funcionamiento del conjunto de subestaciones que integran la red nacional de distribución de energía eléctrica se hace necesario que este sistema se encuentre cimentado sobre una plataforma de comunicaciones firme. Actualmente, esta plataforma de comunicaciones está integrada por: la red de PLC (Power Line Carrier), la red de microonda punto a punto y enlaces de radio en las bandas de VHF y UHF.

A mediano plazo, se tiene en proyecto la expansión del sistema SCADA, con el objeto de poder controlar a distancia la totalidad de la red de distribución existente. Esta expansión no es posible con la plataforma de comunicaciones actual. Esto es debido a que, por ejemplo, el espectro radioeléctrico en las bandas de VHF y UHF se encuentra totalmente saturado, quedando pocas frecuencias disponibles para uso del estado, y en este caso del INDE.

La implementación de la red microonda punto-multipunto permitirá robustecer la plataforma existente y, como consecuencia, propiciará el crecimiento del SCADA, además de que permitirá el desarrollo de una red de comunicación a nivel de voz, exclusiva para el INDE.

La microonda punto-multipunto se constituye en la columna vertebral de todo el sistema de comunicación, pues permitirá enlazar puntos estratégicos localizados en los cuatro puntos cardinales (Volcán de Agua, Cerro Chicut, Parrashquín, Chicut y Soledad Grande) con el Centro Nacional de Operaciones (CENADO).

La capacidad de expansión inherente a un sistema punto-multipunto permitirá que en un futuro pueda ampliarse la cobertura total con el simple hecho de instalar nuevas estaciones terminales.

En este capítulo se describe en forma cualitativa las características del equipo que será instalado. También se describe la topología inicial de la red y las posibles expansiones de la misma que pudiesen darse a mediano plazo.

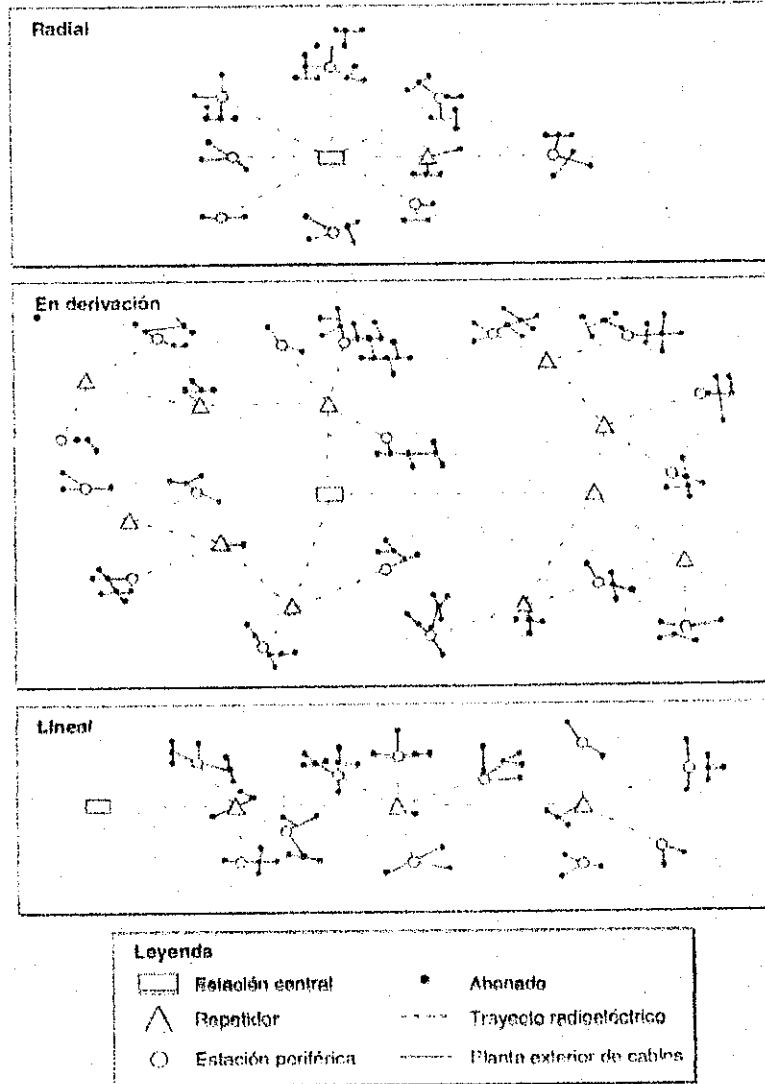
4.2. Descripción del equipo a instalar

El equipo que se pretende instalar es de la serie SR500-s PMP-TDMA (Point-to-Multipoint with Time-División Multiple Access). Este equipo ha sido diseñado y fabricado por la compañía canadiense SR Telecom.

El sistema SR500-s es un sistema de microonda digital punto-multipunto, lo cual implica que un gran número de estaciones distantes (o terminales) pueden comunicarse a una estación central y viceversa. Esto es posible gracias a la tecnología TDMA (en español: acceso múltiple por división en el tiempo), que permite que, a diferencia de lo que sucede con un sistema punto-punto, un solo canal de comunicación pueda atender a varios usuarios, dependiendo del nivel de tráfico y grado de servicio deseado. Para el caso de un sistema punto-punto, cada canal puede servir a un solo usuario.

Los sistemas SR500-s pueden ser configurados como redes radiales, en derivación o lineales a fin de acomodarse a la densidad local de los abonados (usuarios) y a la topología del área de servicio (ver figura 39). Además, los módulos de extensión de red basados en el estándar G.703 permiten conectar entre sí cualquiera de dos nodos de la red SR500-s utilizando redes punto a punto existentes de cable, de microondas y de fibra óptica. La arquitectura del sistema proporciona 60 circuitos troncales de 64 kbit/s y permite atender hasta 4095 abonados dentro de un radio de cobertura de hasta 720 km.

Figura 39 Sistema SR500-s - Configuraciones radial, en derivación y lineal



Tomada del libro titulado **Manual de utilización SR500-s**, s.e., vol. 1, pág. 34. Canadá: departamento de publicaciones SR Telecom Inc., s.a.

Para cualquier aplicación, la capacidad de líneas del sistema está en función del tráfico generado por los abonados y del grado de servicio establecido para cada área. Los 60 circuitos troncales proporcionan una capacidad de tráfico bidireccional superior a 47 erlangs (1700CCS). Si las líneas de abonado generan un tráfico promedio de 0.07 erlangs (2.5 CCS), para un grado de servicio de 1 %, es posible atender a 670 abonados.

Para transmisión de datos, varios canales de datos de baja velocidad de las diferentes estaciones distantes pueden compartir un mismo circuito troncal de 64 kbit/s.

El SR500-s tiene capacidad para servir a usuarios con requerimientos diversos tales como: circuitos a 2 hilos, circuitos a 4 hilos con señalización E&M, telefonía pública, telex, datos síncronos, datos asíncronos y circuitos ISDN.

Otra característica importante del sistema SR500-s es su juego completo de herramientas y funciones de gestión de red. Esto incluye:

- control centralizado de la red
- identificación automática de la configuración del sistema
- supervisión en tiempo real y reporte de alarmas
- direccionamiento dinámico de líneas
- gestión de circuitos
- opción de canal de servicio
- múltiples niveles de acceso
- Prueba de calidad continua (CQT)

A continuación se da una breve descripción de cada una de ellas:

Control centralizado de la red. Las herramientas de gestión de red proporcionan al administrador del sistema la capacidad de supervisar y controlar el sistema SR500-s desde un solo lugar, ya sea la estación central, una estación distante o cualquier punto de la red telefónica pública.

El acceso a estas herramientas es a través de un terminal de video o de una computadora personal situados en la estación central o en cualquier punto de la red telefónica pública con conmutación.

Identificación automática de la configuración del sistema. Después de ser energizada, la estación central busca automáticamente las estaciones distantes activas. Por cada estación distante localizada, la estación central efectúa la sincronización y luego recolecta información de la estación distante: tipo, número de líneas, opciones, etc. Esta opción permite a la estación central construir una base de datos que refleja la configuración del sistema y la configuración de cada estación distante.

Durante el funcionamiento del sistema, la estación central prosigue la búsqueda de estaciones distantes y, si corresponde, actualiza la base de datos. El intervalo de búsqueda es programable entre 1 y 511 estaciones distantes.

Supervisión en tiempo real y reporte de alarmas. Todas las estaciones SR500-s tienen alarmas integradas que notifican fallas en los

subsistemas de transmisión, de controlador y de alimentación. Todas las alarmas son notificadas a la estación central, la cual, a su vez notifica al personal de mantenimiento a través de indicadores visuales, mensajes de error y relés de contactos secos. Adicionalmente, la estación central mantiene una relación detallada de todas las alarmas en la unidad de memoria de gran capacidad.

Direccionamiento dinámico de líneas. Esta función permite al administrador del sistema asignar o modificar las direcciones de línea utilizando un terminal de visualización local o distante. También permite asignar una dirección de línea de estación central a una línea en cualquier estación distante. Asimismo, esta función evita que las líneas no utilizadas en las estaciones distantes ocupen las líneas correspondientes en la estación central.

Gestión de circuitos. El sistema SR500-s ofrece diferentes opciones de manejo de llamadas entrantes y salientes en caso que todos los circuitos estén ocupados. Se dispone de líneas dedicadas, de niveles de prioridad de línea y de una fila de espera de llamadas.

Al utilizar *líneas dedicadas*, estas líneas tienen siempre asegurados los servicios de un circuito, pero al costo de reducir los circuitos disponibles para asignación según demanda. Así la línea esté ocupada o no, cada línea dedicada ocupa un circuito permanentemente.

Al utilizar la opción *prioridad de línea/fila de espera de llamadas*, se asignan tres niveles de prioridad a las líneas: *máxima, alta o normal*. Las comunicaciones hacia o desde líneas con prioridad máxima siempre

obtienen un circuito, aún en caso de que todos los circuitos estén ocupados. Las comunicaciones hacia o desde líneas con prioridad alta o normal son colocadas en una fila de espera y reciben el siguiente circuito disponible, dándose preferencia a las líneas con prioridad alta con respecto a las líneas con prioridad normal.

Opción de canal de servicio. La opción de canal de servicio proporciona al personal de mantenimiento un canal de servicio que puede utilizar para coordinar las actividades de mantenimiento. A través de este canal es posible llamar a una estación en particular o difundir un mensaje a todas las estaciones. Cada estación SR500-s posee un punto de acceso al canal de servicio.

Múltiples niveles de acceso. Con el fin de incrementar al máximo la seguridad del sistema y de impedir accesos no autorizados, el sistema de gestión de red efectúa la identificación del usuario vía una contraseña e incluye cuatro niveles de acceso:

- Mantenimiento en sitio - acceso solamente a pruebas de líneas.
- Mantenimiento del sistema - acceso solamente a pruebas de diagnóstico en línea, incluyendo las pruebas de BER del sistema y de líneas.
- Gestión del sistema - acceso a todas las funciones, excepto a las de gestión de usuario.
- Gestión de red - acceso completo a todas las herramientas de gestión de red.

Prueba de calidad continua (CQT). De conformidad con la recomendación G.821 del UIT-T, la función opcional de prueba de calidad continua (QCT), el SR500-s proporciona al personal de mantenimiento y al administrador del sistema con una amplia gama de pruebas que verifican la calidad de la red. Estas pruebas incluyen pruebas de BER, pruebas de nivel de RF y pruebas de líneas.

Todas las pruebas están integradas en el sistema SR500-s y no se necesita de equipo adicional de pruebas. Estas pruebas pueden ser activadas a partir de un terminal de visualización local o distante y pueden ejecutarse en un segundo plano mientras el operador utiliza otras funciones de los menús.

Los resultados de las pruebas pueden imprimirse, almacenarse en la unidad de memoria de gran capacidad o solamente visualizarse en tiempo real.

- Prueba BER del sistema. Esta prueba verifica la calidad de transmisión entre la estación central y cualquier estación distante. Esta prueba posee tres modos de operación:
 - prueba de una estación distante
 - prueba de todas las estaciones distantes utilizando un circuito
 - prueba de todas las estaciones distantes utilizando dos circuitos

- Prueba de BER selectiva por salto. Cuando la prueba de BER involucra solamente un circuito, el sistema SR500-s efectúa también una prueba de BER independiente por cada repetidor situado en el trayecto que conduce a las estaciones distantes seleccionadas. Esta función permite al operador localizar fácilmente trayectos degradados.
- Prueba BER de extremo a extremo. La prueba BER de extremo a extremo hace funcionar el circuito entre dos conexiones de datos síncronos o de telex. Una conexión está situada en la estación central y la conexión correspondiente está en una estación distante. Es posible verificar al mismo tiempo el BER de varias conexiones. En tiempo real, los reportes de avance mantienen informado al operador sobre la ejecución de las pruebas BER de extremo a extremo.
- Supervisión del nivel de RF. La supervisión del nivel de RF permite que los nodos del sistema indiquen la potencia de la señal de RF que es recibida desde las estaciones distantes. Esta supervisión se efectúa en tiempo real y el nivel de la señal se mide en dBm.
- Prueba de líneas. La prueba de líneas permite verificar la integridad de las líneas de cobre que conectan las tarjetas de interfaz a 2 hilos con los teléfonos de los abonados. Durante la prueba de líneas, la tarjeta de interfaz a 2 hilos examina las líneas para detectar tensiones extrañas de c.c. y c.a. así como cortocircuitos. Se mide la tensión de c.c., la tensión de c.a., la resistencia y la capacitancia entre los hilos *a* y *b*, el hilo *a* y tierra, y el hilo *b* y tierra.

4.3. Tipos de estaciones disponibles

Un sistema SR500-s incluye las siguientes estaciones:

1. Una estación central, y
2. Como máximo 511 estaciones distantes.

Varias estaciones distantes en diversas configuraciones permiten satisfacer los diferentes requerimientos de cada sitio. Existen cinco tipos de estaciones distantes que pertenecen a la categoría de estación periférica o de repetidor, tal como sigue:

a) Estaciones periféricas:

- Microestación (μ EP)
- Estación SLIM 10
- Estación SLIM 34

b) Repetidores:

- Repetidor SLIM sin abonados
- Repetidor SLIM con abonados

Las estaciones periféricas conectan abonados de una misma región a la estación central vía radioenlaces de microondas. Los repetidores, de tipo regenerativo, extienden el área de cobertura del

sistema SR500-s. Cuando no es posible obtener un trayecto con visibilidad directa (línea vista) entre la estación central y una estación distante debido a la existencia de obstáculos naturales o artificiales o a la distancia, deben instalarse uno o más repetidores a lo largo del trayecto para repetir la señal entre ambos sitios. Además de realizar esta función, los repetidores pueden servir directamente a abonados situados cerca de los mismos.

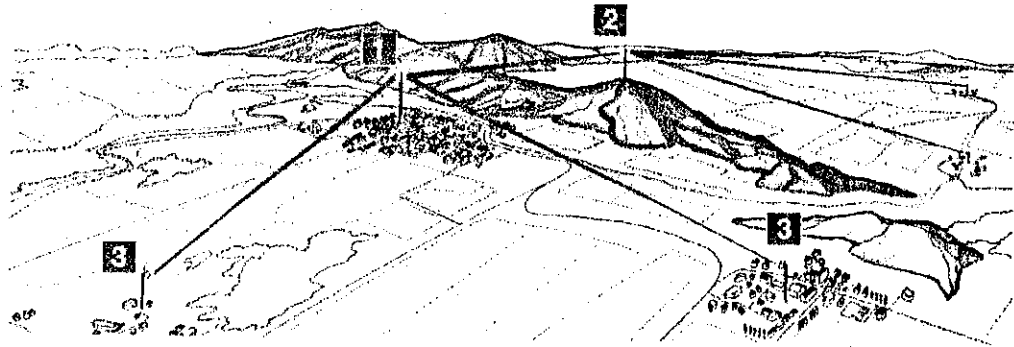
La figura 40 muestra la capacidad y características de las distintas estaciones integrantes del sistema.

4.4. Teoría de funcionamiento

4.4.1. Conceptos, funcionamiento y estructura de trama

El sistema de radio SR500-s es un sistema de radio de microondas digital punto a multipunto que distribuye, a partir de una estación central SR500-s, líneas de abonado a varias estaciones distantes situadas en la región de cobertura. Es posible conectar hasta 4,095 líneas de abonado en un máximo de 511 estaciones distantes. La capacidad típica del sistema varía entre 800 a 1,000 circuitos de abonado.

figura 40. Capacidades y características del sistema SR500-s



1



ESTACIÓN CENTRAL

Capacidad

Líneas analógicas 1024 líneas de teléfono público o de FV a 2 hilos;
512 líneas RDSI; 512 líneas de télex; o 256 líneas a 4 hilos E y M

Líneas de datos 256 líneas asíncronas, síncronas o G.703 (64 kbit/s)

Líneas digitales* 960 líneas E1 o 768 líneas T1

Alimentación

Tensión de entrada -24 ó -48 Vcc; o 120/240 Vca, 50/60 Hz (opcional)

Consumo típico¹ 60 W (líneas analógicas) o 60 W (líneas digitales)

* La interfaz digital universal (UDI) permite utilizar ambas portadoras de velocidad primaria E1 (2048 kbit/s) o T1 (1544 kbit/s), del tipo G.703, G.704, G.706, G.712, G.821 y G.823 del UIT-T. La señalización puede adaptarse a diferentes centrales telefónicas digitales.

2



Repetidor en bastidor (UPTB)

REPETIDORES

Capacidad

Líneas analógicas 256 líneas de teléfono público o de FV a 2 hilos;
128 líneas RDSI; 128 líneas a 4 hilos E y M;
o 64 líneas de télex

Líneas de datos 128 líneas asíncronas, síncronas o G.703 (64 kbit/s)

Alimentación

Tensión de entrada -24 ó -48 Vcc; o 120/240 Vca, 50/60 Hz (opcional)

Consumo típico¹ 100 W

Repetidor SLIM con abonados



Capacidad²

Con abonados

Sin abonados

2 hilos	Teléfono público	4 hilos E y M	RDSI	Datos	Télex
10	9	4	4	4	2
1*	-	-	-	-	-

Alimentación

Tensión de entrada +13,6 Vcc; -18 a -72 Vcc; opción de inversión de tierra; o 120/240 Vca, 50/60 Hz (con una unidad de alimentación)

Consumo típico¹

60 W

Respaldo 35 a 140 Ah (con una unidad de alimentación)

figura 40 (cont.): Capacidades y características del sistema SR500-s

ESTACIONES PERIFÉRICAS																									
<p>Estación periférica en bastidor (EPB)</p>	<p>Capacidad</p> <p>Líneas analógicas: 256 líneas de teléfono público o de FV a 2 hilos; 128 líneas RDSI; 128 líneas a 4 hilos E y M; o 64 líneas de télex</p> <p>Líneas de datos: 128 líneas asíncronas, síncronas o G.703 (64 kbit/s)</p> <p>Alimentación</p> <p>Tensión de entrada: -24 ó -48 Vcc; o 120/240 Vca, 50/60 Hz (opcional)</p> <p>Consumo típico¹: 60 W</p>																								
	<p>Capacidad²</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Estación SLIM 10</th> <th>Estación SLIM 10</th> <th>Estación SLIM 34</th> <th>Estación SLIM 34</th> <th>Estación SLIM 10</th> <th>Estación SLIM 34</th> </tr> <tr> <th>2 hilos</th> <th>Teléfono público</th> <th>4 hilos E y M</th> <th>RDSI</th> <th>Datos</th> <th>Télex</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>9</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>34</td> <td>33</td> <td>16</td> <td>16</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Alimentación</p> <p>Tensión de entrada: +13,6 Vcc; -18 a -72 Vcc; opción de inversión de tierra; o 120/240 Vca, 50/60 Hz (la estación SLIM 34 requiere una unidad de alimentación)</p> <p>Consumo típico¹: 15 W (en reposo)</p> <p>Respaldo: 17 Ah con batería interna o 35 a 140 Ah con baterías externas</p> <p><i>* Cuatro ranuras pueden tolerar tarjetas de interfaz de FV</i></p>	Estación SLIM 10	Estación SLIM 10	Estación SLIM 34	Estación SLIM 34	Estación SLIM 10	Estación SLIM 34	2 hilos	Teléfono público	4 hilos E y M	RDSI	Datos	Télex	10	9	4	4	4	2	34	33	16	16	8	8
	Estación SLIM 10	Estación SLIM 10	Estación SLIM 34	Estación SLIM 34	Estación SLIM 10	Estación SLIM 34																			
	2 hilos	Teléfono público	4 hilos E y M	RDSI	Datos	Télex																			
10	9	4	4	4	2																				
34	33	16	16	8	8																				
<p>Capacidad</p> <p>2 líneas de cualquier tipo: 2 hilos, teléfono público, 4 hilos E y M, télex, datos o servicio mixto; 1 línea RDSI</p> <p>Alimentación</p> <p>Tensión de entrada: +13,6 Vcc; o 120/240 Vca, 50/60 Hz</p> <p>Consumo típico¹: 15 W (en reposo)</p> <p>Respaldo: 4 a 17 Ah con batería interna</p>																									
<p>Capacidad</p> <p>2 líneas de cualquier tipo: 2 hilos, teléfono público, 4 hilos E y M, télex, datos o servicio mixto; 1 línea RDSI</p> <p>Alimentación</p> <p>Tensión de entrada: +13,6 Vcc; o 120/240 Vca, 50/60 Hz</p> <p>Consumo típico¹: 15 W (en reposo)</p> <p>Respaldo: 4 a 17 Ah con batería interna</p>																									

1 2 3

CARACTERÍSTICAS COMUNES

- Condiciones de operación:
 - Al interior: -10 a +35 °C
 - Al exterior: -40 a +55 °C
 - Humedad: 95% sin condensación
- Toda estación puede proporcionar un servicio mixto de voz y datos.
- Equipo de reserva opcional para estaciones en bastidor y repetidores SLIM (1+1) en los modos de reserva inmediata, reserva rápida o reserva en frío.
- Es posible añadir líneas mediante la adición de un anaqueil de líneas o datos a una estación en bastidor o mediante la conexión de una estación auxiliar a una estación SLIM.
- Las estaciones en bastidor fueron designadas para instalación en interiores.

¹ El consumo está basado en una carga típica de tráfico residencial asumiendo que las estaciones en gabinete están plenamente equipadas y que la estación central y las estaciones en bastidor están equipadas a media capacidad con tres circuitos de RI de P.M. El consumo real depende de la carga de tráfico real como del equipo opcional seleccionado como tal a la tensión primaria, del número de líneas en servicio o del equipo de reserva.

² El controlador SLIM proporciona dos circuitos a 2 hilos. El primer circuito puede ser programado como canal de servicio o como línea de FV y el segundo circuito como línea de FV o de teléfono público. El controlador SLIM de repetidores en abonados proporciona sólo un circuito a 2 hilos para canal de servicio.

figura 40 (cont.). Capacidades y características del sistema SR500-s

Características de los transceptores

BANDAS DE 1,3 A 2,7 GHz

Bandas de frecuencia MHz	Separación mínima entre canales Tx y Rx, MHz ¹
1375 - 1452	47
1427 - 1535	47
1700 - 1900	57
1900 - 2100	64
2100 - 2300	70
2300 - 2500	77
2500 - 2690	74

Potencia de salida de RF del transmisor (en el acceso de antena) +20, +20.6 +35 dBm, garantizada²

BANDA DE 10,5 GHz

El sistema SR500-s está equipado con un módulo integrado de antena (AIM) de 10,5 GHz, lo cual brinda acceso inalámbrico directamente a los edificios, así como sirve de enlace de radio de entrada entre los ajustes urbanos y rurales a través de la banda cruzada.

Banda de frecuencia	10,150 a 10,300 GHz 10,500 a 10,650 GHz
Separación mínima entre canales Tx-Rx	350 MHz
Potencia de salida del transmisor RF (en el acceso de antena)	+10, +20.6 +28 dBm, garantizada ²
AIM direccional	23 dBi, abertura del haz de 6°
AIM sectorial	12 dBi, abertura del haz de 60°

También existe un módulo integrado de antena (AIM) con la interfaz de guía de onda CPK907

CARACTERÍSTICAS COMUNES A TODOS LOS TRANSCÉPTORES DE RF

Impedancia de entrada y salida de RF	50 Ω, asimétrica
Separación mínima entre canales	Se requiere 3,5 MHz según los reportes 350 y 1057 del CCIR y la recomendación UIT-F Rec. 701.
Modulación	OQPSK modificada
Estabilidad de frecuencia	±5 ppm
Detección	Coherente
Intervalo de funcionamiento del receptor	-45 a -93 dBm
Sensibilidad del receptor en el acceso de antena	-87 dBm, garantizada ² (para una tasa BER de 1×10^{-4})

¹ Solamente se indica el valor mínimo. Otras separaciones entre canales son posibles.

² Las características de funcionamiento garantizadas son válidas para todo equipo que opere dentro del intervalo especificado de temperatura.

Tomada del panfleto informativo titulado **Especificaciones del sistema SR500-s** publicado por SR Telecom Inc., Canadá, 1,990.

El sistema SR500-s provee 60 circuitos troncales para permitir el tráfico de abonado entre la estación central y todas las estaciones distantes. Estos 60 circuitos bidireccionales de 64 kbit/s cada uno están estructurados en dos formatos de trama: *entrante y saliente**, correspondiéndoles a cada uno de ellos 62 bloques de tiempo. Cada bloque de tiempo consiste de una serie de bits. Los bloques de tiempos que forman la trama saliente se transmiten continuamente y se llaman *bloques*; por otra parte, los bloques temporales que forman la trama entrante se transmiten en ráfagas y, por consiguiente se les denomina *ráfagas*. Respecto a las tramas salientes y entrantes, cada circuito troncal está constituido por un bloque de tráfico en la dirección saliente y la correspondiente ráfaga de tráfico en la dirección entrante.

4.4.2. Dirección saliente

En la estación central, las señales de frecuencia vocal (VF) a 2 hilos y 4 hilos de las líneas activas originadas en la central y destinadas a las estaciones distantes están codificadas individualmente en formato MIC. Al mismo tiempo, las señales de datos (RS-232, RS-422, V.35 y/o G.703) de circuitos activos originados en los equipos terminales de datos y dirigidas hacia las estaciones distantes son individualmente sincronizadas y almacenadas en una memoria tapón. Tal como aparece en la figura 41, cada una de las señales resultantes son asignadas a un

* Los adjetivos "saliente" y "entrante" son utilizados para identificar dos direcciones diferentes de transmisión. "Saliente" se refiere a la transmisión desde la estación central hacia el resto del sistema. "Entrante" se refiere a la dirección de transmisión hacia la estación central.

bloque de tráfico en una trama multiplexada por división en el tiempo (MDT). El tren de datos resultante modula una portadora de RF (F1), la cual a través de la antena apropiada (típicamente omnidireccional) emite en forma continua hacia todas las estaciones distantes.

El formato de la trama del tren de datos saliente está formado por una trama de 4 ms dividida en 62 bloques. La trama saliente está formada por dos bloques de gestión seguidos por 60 bloques de tráfico. Los bloques de tráfico se utilizan para transportar señales de datos y/o voz codificadas en formato MIC (junto con la señalización E&M correspondiente). Los bloques de gestión, por otra parte, son utilizados para sincronización, interrogación secuencial y autotemporización, así como para transportar mensajes de estado del sistema, mensajes de control y mensajes de asignación de circuitos troncales. La figura 42 proporciona más detalles con respecto a la trama saliente.

4.4.3. Dirección entrante

En las estaciones distantes, cada señal de FV a 2 hilos o 4 hilos, la cual corresponde a un abonado que ha iniciado una comunicación, es codificada individualmente en formato MIC. Al mismo tiempo, cada señal de datos (RS-232, RS-422, V.35 o G.703) asociada con un abonado activo es individualmente sincronizada y almacenada en la memoria tapón. Tal como se muestra en la figura 43, las señales resultantes son cada una asignadas a una ráfaga de tráfico en una trama de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT ó por sus

siglas en inglés TDMA). En cada estación distante, el tren de datos resultante modula la portadora de RF (F_1), la que es transmitida en ráfagas; cada ráfaga de RF representa una ráfaga de tráfico asignada. Estas ráfagas son transmitidas desde cada estación distante hacia la estación central vía una antena direccional, generalmente parabólica.

En la transmisión TDMA, todas las estaciones distantes transmiten hacia la estación central en ráfagas utilizando la misma portadora de RF (F_1), ubicada en el intervalo de 1.4 a 2.7 GHz. Como resultado, una sola estación distante puede transmitir a un tiempo dado. La estación central planifica, sincroniza, controla y supervisa la transmisión de la portadora de RF de todas las estaciones distantes a fin de asegurarse que las ráfagas no se superpongan dentro de la trama TDMA.

El formato de la trama de datos entrante está constituido por una trama de 8 ms, que a su vez está compuesta por 62 ráfagas. La trama entrante está formada por 2 ráfagas de gestión seguidas por 60 ráfagas de tráfico. Estas ráfagas de tráfico corresponden a los 60 bloques de tráfico de la trama saliente. Las ráfagas de tráfico transportan señales de voz codificadas en MIC (con señalización E&M) y señales de datos desde las estaciones remotas a la estación central. Las ráfagas de gestión, por otra parte, se utilizan para la sincronización y autotemporización, así como para transmitir la información de marcación, respuestas a la interrogación secuencial, mensajes de estado de estaciones distantes, de abonados y de petición de circuitos troncales.

La figura 44 proporciona detalles respecto a la estructura de trama entrante.

El sistema SR500-s utiliza un protocolo de petición aleatoria para procesar rápida y eficientemente peticiones provenientes de las estaciones distantes.

Cuando una estación distante necesita un circuito troncal para alguno de sus abonados, la estación envía su petición a la estación central vía una ráfaga de gestión en una de sus tramas entrantes. Esta ráfaga de gestión se denomina "ráfaga de petición". Cuando la estación central recibe la ráfaga de petición, acusa recibo de la petición asignando un circuito troncal disponible a la estación distante que lo solicitó.

4.4.4. Sistemas con repetidores

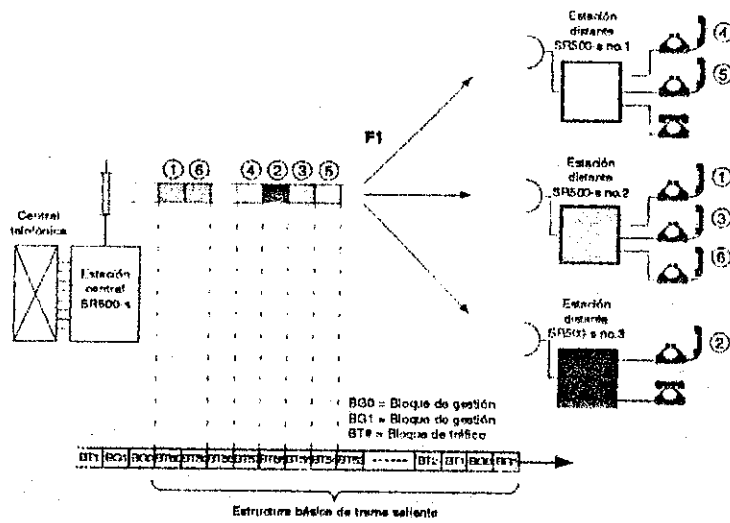
Cuando una estación distante está fuera del alcance de la estación central, ya sea porque la distancia es muy grande, no existe visibilidad directa (línea vista), o existen obstáculos, es posible instalar uno o varios repetidores en el trayecto a fin de asegurar la retransmisión de las señales. Esto se muestra en la figura 45.

Los repetidores están equipados con dos tipos diferentes de transreceptores: uno para transmitir y recibir en la dirección entrante y el otro para transmitir y recibir en la dirección saliente. En cada

dirección, el repetidor recupera la portadora de RF de recepción y la sincroniza con el tren de datos recibidos. Los trenes de datos entrantes y salientes son entonces aplicados a los transreceptores entrantes y salientes, respectivamente.

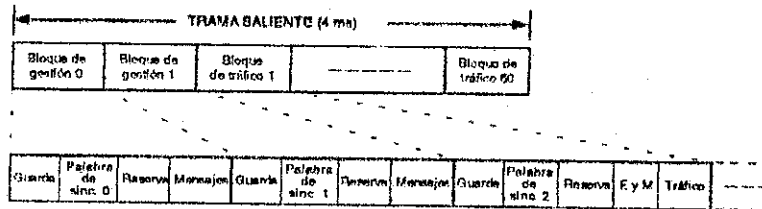
El transreceptor entrante, que transmite en ráfagas, transmite y recibe utilizando sólo un par de frecuencias (por ejemplo $F1$ y $F1'$), mientras que el transreceptor saliente, que transmite continuamente, utiliza otro par de frecuencias (por ejemplo $F2$ y $F2'$). En trayectos con más de dos saltos, este par de frecuencias puede algunas veces ser reutilizado por otros saltos distantes, siempre que exista una adecuada protección proporcionada ya sea por el terreno, por la polarización de la antena o por la distancia.

Figura 41
Sistema SR500-s
Trama saliente y
transmisión



Tomada del libro titulado **Manual de utilización SR500-s**, s.e., vol. 1, pág. 84. Canadá: departamento de publicaciones SR Telecom Inc., s.a.

Figura 42
Sistema SR500-s
Estructura de la
trama saliente



Tomada del libro titulado **Manual de utilización SR500-s**, s.e., vol. 1, pág. 85. Canadá: departamento de publicaciones SR Telecom Inc., s.a.

Figura 43
Sistema SR500-s
Trama entrante y transmisión

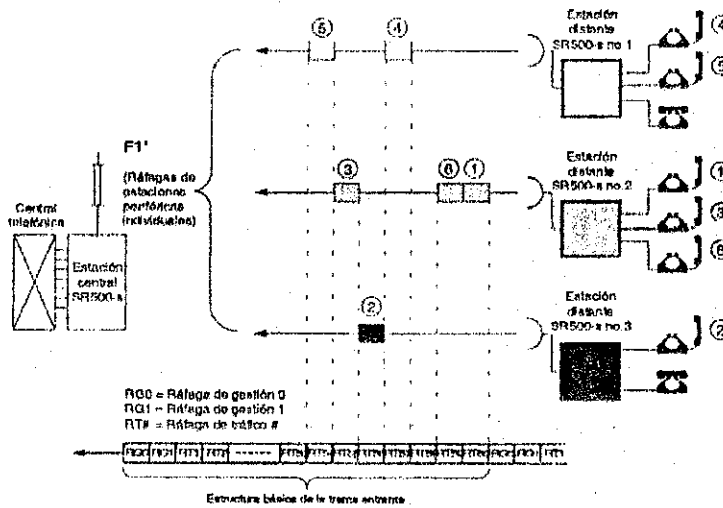


Figura 44
Sistema SR500-s
Estructura de la trama entrante

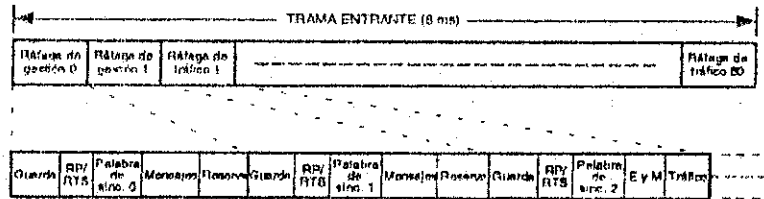
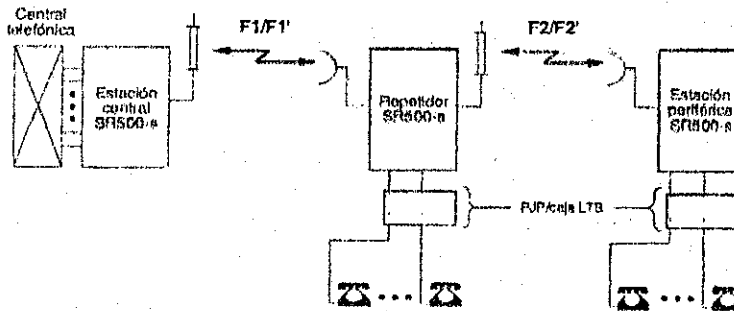


Figura 45
Extensión del alcance utilizando repetidores



Las figuras 43, 44 y 45 fueron tomadas del libro titulado **Manual de utilización SR500-s, s.e.**, vol. 1, págs. 86, 88 y 89, respectivamente. Canadá: departamento de publicaciones SR Telecom Inc., s.a.

4.4.5. Transreceptores

Como se ha indicado con anterioridad, existen dos tipos de transreceptores, estos son: los transreceptores salientes y los transreceptores entrantes.

4.4.5.1. Transreceptores salientes

- Se instalan en la estación central y en los repetidores.
- Cada uno comprende un transmisor saliente y un receptor saliente.
- Transmiten continuamente la información recibida de la computadora local o controlador hacia todas las estaciones ubicadas aguas abajo *.
- Reciben información en ráfagas, desde todas las estaciones distantes ubicadas aguas abajo, para la computadora local o controlador.
- Proporcionan el estado de las alarmas de los transreceptores salientes a la computadora local o controlador.

* Aguas abajo: expresión que indica un emplazamiento en la dirección saliente.

4.4.5.2. Transreceptores entrantes

- Se instalan en estaciones periféricas y repetidores.
- Cada uno comprende un transmisor entrante y un receptor entrante.
- Transmiten en ráfagas la información recibida del controlador local hacia la estación central o repetidores ubicados aguas arriba ** .
- Reciben información continuamente desde la estación central o repetidores ubicados aguas arriba para el controlador local.
- Proporcionan el estado de las alarmas de los transreceptores entrantes al controlador local.

Los transreceptores entrantes utilizan antenas direccionales (panel, de bocina o parabólica) mientras que los transreceptores salientes pueden usar antenas direccionales o bien omnidireccionales o sectoriales según se requiera.

Las figuras 46 y 47 proporcionan diagramas de bloques simplificados de transreceptores salientes y entrantes con sintetizadores de frecuencia utilizados en todas las estaciones del sistema SR500-s excepto en la microestación. Estos transreceptores:

1. Utilizan sintetizadores de frecuencia que permiten cambiar fácilmente las frecuencias de transmisión y recepción, ya sea en la fábrica o en el sitio de instalación de los equipos.

** Aguas arriba: expresión que indica un emplazamiento en la dirección entrante.

2. Cada uno incluye tres módulos: un transmisor, un receptor y un amplificador de potencia/duplexor.

En las secciones siguientes se describe el funcionamiento de estos transreceptores.

4.4.6. Dirección de transmisión

En la dirección de transmisión, el tren de datos de 4.864 Mbit/s y el reloj de 4.864 MHz provenientes de la computadora de la estación central o del controlador de estación distante entran al transmisor, donde un procesador de señales de transmisión codifica diferencialmente el tren de datos de 4.864 Mbit/s y lo convierte en dos trenes de símbolos en paralelo a 2.432 Mbit/s. Luego modifica las rápidas transiciones de cada símbolo para reducir el espectro de los símbolos. Finalmente, el procesador de señales de transmisión aplica las dos formas de onda resultantes limitadas por bandas (patrón de ojo), designadas como "I" y "Q", al modulador de RF.

El sintetizador de frecuencia genera la portadora de RF de transmisión y suministra esta señal al modulador de RF.

Las formas de onda "I" y "Q" del procesador de señales de transmisión entran al modulador de RF donde ellas modulan en fase la portadora de RF utilizando modulación por desplazamiento de fase cuaternaria separada (OQPSK). La señal resultante es una señal de RF

modulada por cuatro fases de banda limitada que ocupa un ancho de banda nominal de 3.5 MHz alrededor de la portadora de RF de transmisión. Posteriormente, el modulador de RF envía esta señal de RF al amplificador de potencia.

El amplificador de potencia del transmisor amplifica la señal de salida de RF del modulador al nivel requerido para proveer +20 dBm de potencia de salida en el acceso de la antena. El nivel de +20 dBm es la potencia de salida de RF de transmisión estándar.

Un cable semirrigido encamina la señal de RF amplificada desde la salida XMT OUT del transmisor a la entrada del amplificador de potencia/duplexor. Opcionalmente, cuando se requiere una potencia de salida superior a +20 dBm en el acceso de antena (+30 dBm o +35 dBm), puede instalarse un amplificador de potencia suplementario al amplificador de potencia/duplexor.

En el caso de un transmisor entrante, el cual transmite por ráfagas, una señal de control de ráfagas (TX BURST) es utilizada para polarizar directa e inversamente los amplificadores de potencia y por lo tanto activar y desactivar la transmisión. En el caso de un transmisor saliente, el cual transmite continuamente, los amplificadores están directamente polarizados de manera permanente permitiendo por lo tanto transmisión continua.

La señal de RF amplificada resultante entra a un filtro pasabanda RF de transmisión que limita el espectro de la transmisión. Finalmente, la señal de RF filtrada es enviada a la entrada/salida de la antena del amplificador de potencia/duplexor y subsecuentemente a la antena para transmisión.

El filtro pasa banda RF de transmisión y el filtro pasabanda RF de recepción están acoplados vía un circulador a la entrada/salida de la antena del amplificador de potencia/duplexor. El transreceptor es capaz de transmitir y recibir utilizando la misma antena debido a que las frecuencias RF de transmisión y recepción están separadas y el transreceptor utiliza filtros pasabanda angostos.

4.4.7. Dirección de recepción (receptor saliente)

En la dirección de recepción, las señales de RF provenientes de la antena son dirigidas a la entrada/salida de la antena del amplificador de potencia/duplexor, donde son aplicadas vía un circulador a un filtro pasabanda RF de recepción que rechaza la mayoría de las espúreas y las señales fuera de banda. La señal de RF de recepción resultante es dirigida a la entrada RCV IN del receptor y en consecuencia al convertidor de bajo nivel de ruido (LNC).

El sintetizador de frecuencias genera una señal a la frecuencia del oscilador local y suministra esta señal al convertidor de bajo nivel de ruido.

El convertidor de bajo nivel de ruido inicialmente amplifica la señal de RF de recepción con un mínimo de adición de ruido. Luego, el convertidor de bajo nivel de ruido heterodina la señal de RF de recepción con la señal del oscilador local para producir una señal de FI de 70 MHz. La señal de 70 MHz resultante es dirigida a la entrada del demodulador. El demodulador, que es del tipo coherente, recupera primero la portadora de transmisión reducida. Luego, el demodulador procede a recuperar el reloj de 4.864 MHz y extrae, de la señal de FI, las formas de onda "I" y "Q" (patrón de ojo), seguidas del tren de datos de 4.864 MHz.

Finalmente, el demodulador envía las señales de reloj y de datos resultantes a la computadora de la estación central o al controlador de estación distante.

4.4.8. Dirección de recepción (receptor entrante)

En la dirección de recepción, las señales de RF de la antena son dirigidas a la entrada/salida de antena del amplificador/duplexor donde las señales son aplicadas vía un circulador al filtro pasabanda de RF de recepción que rechaza la mayoría de espúreas y de las señales fuera de banda. Luego, la señal de RF de recepción resultante es aplicada al amplificador/filtro de bajo nivel de ruido.

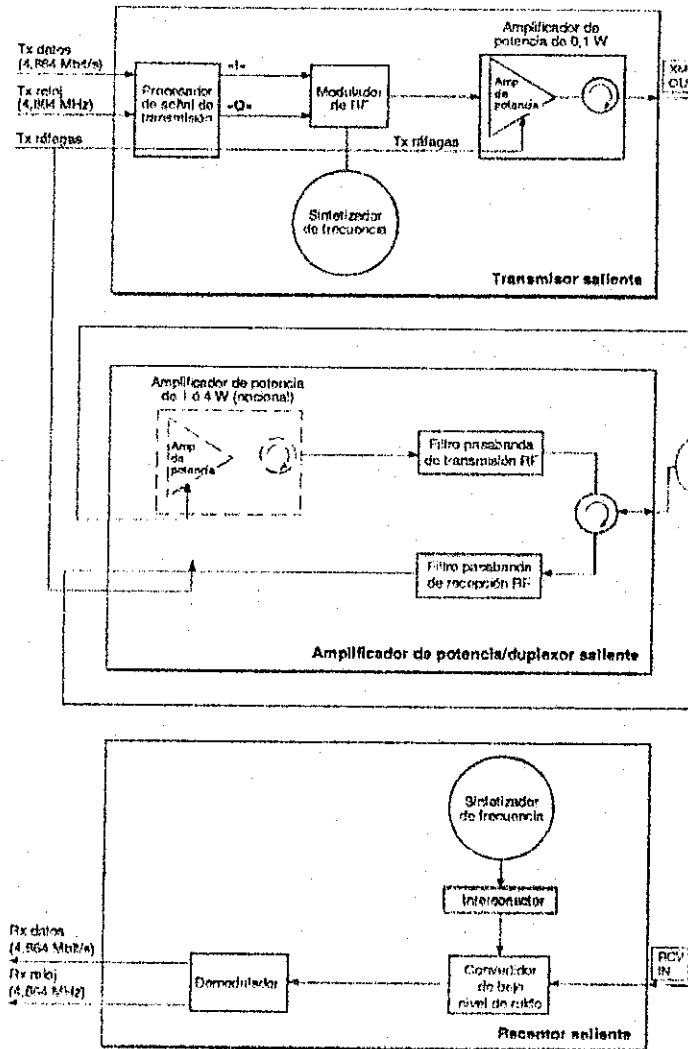
El amplificador/filtro de bajo nivel de ruido amplifica la señal de RF de recepción con un mínimo de adición de ruido y entrega la señal resultante vía un cable semirrigido a la entrada RCV IN del receptor y, en consecuencia, al demodulador.

El oscilador-mezclador del receptor calcula automáticamente la frecuencia de recepción basado en la frecuencia de transmisión seleccionada y en la correspondiente separación de canales TX - RX. La separación de canales TX - RX está permanentemente fijada en el receptor.

Un nivel de tensión de c.c. del demodulador controla el oscilador-mezclador para asegurar que genera una señal exactamente de la misma frecuencia que la de la portadora de transmisión (del emplazamiento adyacente). Luego, el oscilador-mezclador suministra esta señal de oscilador local al demodulador.

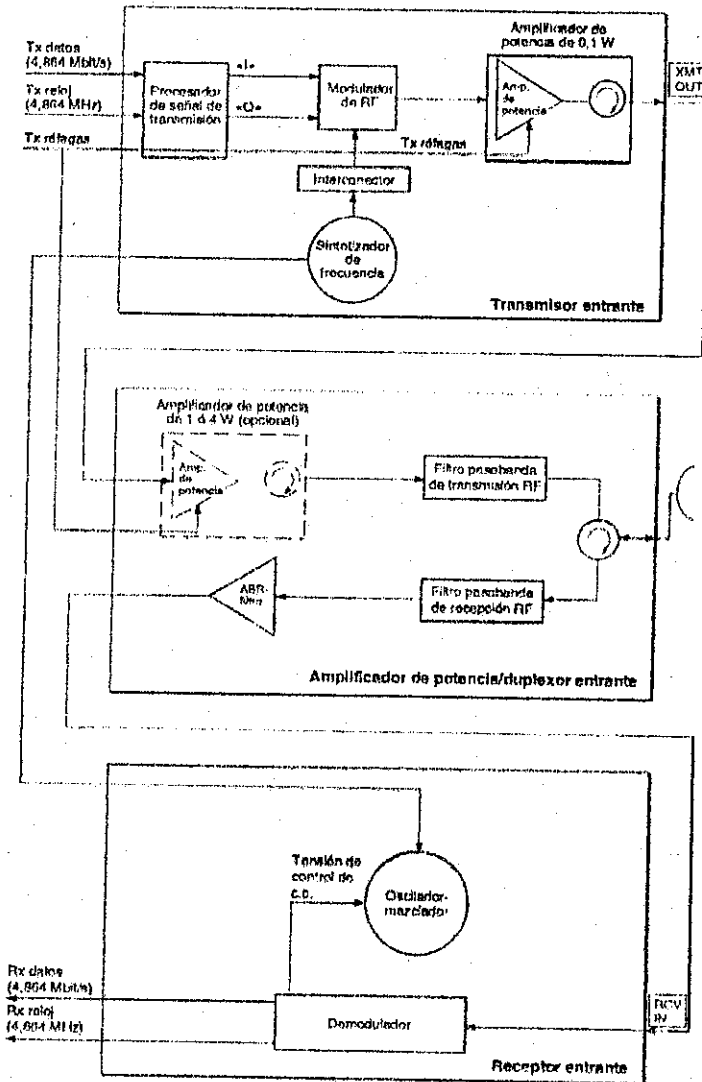
El demodulador, el cual es un demodulador coherente, directamente demodula la señal de RF de recepción utilizando la señal del oscilador local. Luego, el demodulador amplifica, filtra y decodifica diferencialmente las dos formas de onda "I" y "Q" de 2.432 MHz resultantes (patrón de ojo) antes de convertirlas en un solo formato serie de 4.864 MHz, recuperando una señal de reloj de 4.864 MHz y extrayendo el tren de datos de 4.864 Mbit/s. Finalmente, el demodulador envía las señales de reloj y datos resultantes al controlador de estación distante.

Figura 46
 Diagrama de bloques simplificado de transceptor saliente con sintetizador de frecuencia



Tomada del libro titulado **Manual de utilización SR500-s**, s.e., vol. 1, pág. 105. Canadá: departamento de publicaciones SR Telecom Inc., s.a.

Figura 47
 Diagrama de bloques simplificado de transceptor entrante con sintetizador de frecuencia



Tomada del libro titulado **Manual de utilización SR500-a**, s.e., vol. 1, pág. 106. Canadá: departamento de publicaciones SR Telecom Inc., s.a.

4.5. Descripción de la topología de red

En esta sección se describe de forma cualitativa y resumida la topología de red que, según el análisis de campo, se pretende instalar para satisfacer las necesidades de comunicación del INDE.

Esta red consta de una estación central que se comunica en forma directa con una estación repetidora principal a través de la cual se establece la comunicación hacia el resto de la red. Esta topología se conoce con el nombre de "lineal" y se emplea en aquellos casos en los cuales la estación central se encuentra localizada en un punto tal que no existe línea vista entre ésta y las estaciones terminales.

La estación central se encuentra localizada en la subestación Guatemala Sur, la estación repetidora principal está en el Volcán de Agua. Existen otras tres repetidoras que serán instaladas en los siguientes puntos:

- cerro Parrasquín,
- cerro Chicut y
- cerro Soledad Grande.

Se contará con una estación terminal en las subestaciones

- Guatemala Este,
- Guatemala Norte,
- Brillantes,
- Panaluya,

- Ahuachapán y
- central térmica de Escuintla.

Las cuatro repetidoras indicadas anteriormente constituyen la columna vertebral (o el backbone) de todo el sistema. A esta columna vertebral se conecta el resto del sistema.

Con la repetidora del Volcán de Agua se comunican las estaciones situadas en las regiones central y sur-central del país; esto es: Guatemala Este, Guatemala Norte y Escuintla. De Parrasquín se tiene comunicación hacia el cerro Siete Orejas, y desde este se logra la comunicación con la subestación Brillantes. Desde Parrashquín existir comunicación con las subestaciones localizadas en la región occidental. Chicut permite comunicar la infraestructura de la región norte con en resto del sistema. La región oriental se comunica por medio de la repetidora de Soledad Grande. Soledad Grande comunica con la repetidora localizada en La Marmolera que a su vez se comunica con la repetidora en cerro Loma de Piedra y la estación terminal en Panaluya. La repetidora de Loma de Piedra enlaza con una repetidora en el cerro Tipón el cual permite dar servicio al departamento de Izabal.

A corto plazo, la red podría crecer de tal cuenta que pueda cubrir estaciones terminales en el resto de subestaciones y estaciones generadoras, esto es:

- Chixoy,
- Jurún Marinalá,
- Aguacapa,

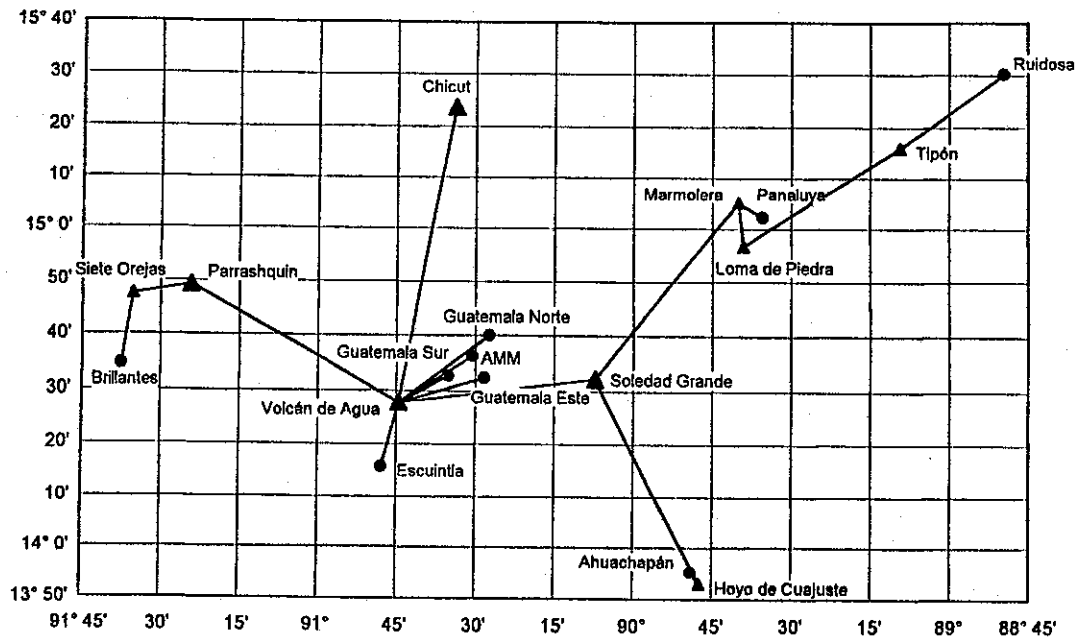
- Los Esclavos,
- Cobán,
- Sanarate,
- Sololá,
- Santa María, entre otros.

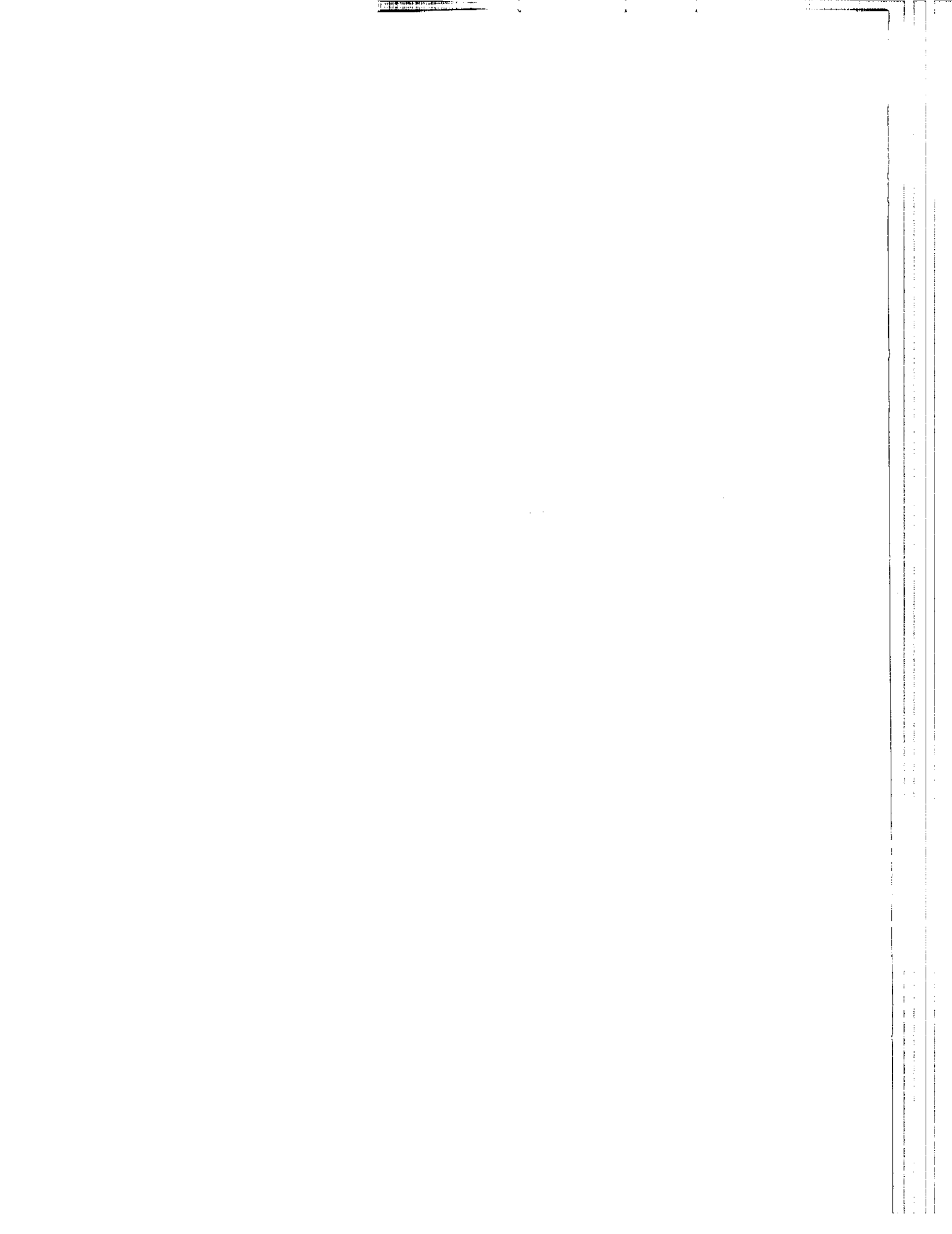
Hay que tomar en cuenta que para poder enlazar todos estos puntos terminales se hace necesaria la instalación de nuevos puntos de repetición, tal es el caso de la repetidora de Hoyo de Cuajuste, sin la cual sería imposible la comunicación con la estación Ahuachapán.

En la figura 48 se presenta el diagrama de la red. En la misma se muestran las expectativas de crecimiento del sistema a mediano plazo.

Con el fin de hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico, se emplea el concepto de reutilización de frecuencias, que no es más que el empleo de radiofrecuencias más de una vez siempre y cuando no existan problemas de interferencia. Si los sitios geográficos en los que se desea utilizar la misma frecuencia están lo suficientemente distantes, los efectos de interferencia se reducirán a un nivel casi imperceptible.

Figura 48. Red de microonda digital punto-multipunto





5. PROTOCOLOS DE PRUEBA Y MEDICIÓN

5.1. Introducción

El presente capítulo constituye la parte principal de este trabajo de tesis. Aquí se presenta una serie de procedimientos de prueba y medición de los distintos equipos que integran la red de microonda del INDE.

El objetivo primordial de este capítulo es presentar una guía práctica que ayude al personal técnico del INDE para realizar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo de la red de microonda.

Este capítulo se divide en dos secciones principales:

- mantenimiento preventivo
- mantenimiento correctivo o reparativo

En la primera sección, se presentan los pasos sugeridos para poder realizar periódicamente el mantenimiento preventivo de los equipos en cada una de las estaciones. Se presenta un formato sugerido para protocolo de pruebas.

La segunda sección presenta los procedimientos a seguir para localizar averías y poderlas resolver. Las pruebas se presentan de tal forma que inicialmente se procede a la prueba de todo un enlace completo, esto con el fin de observar la forma en se encuentra operando el enlace como un todo para así poder determinar los desperfectos que pudieran existir en el momento de realizar la prueba.

Después de realizar la prueba global del enlace se tendrá una visión general del funcionamiento del sistema así como, en el caso de existir fallas, podrán formularse hipótesis concisas de las posibles fuentes de la falla y sus posibles soluciones.

Posterior a la prueba general se presentan otras que tienen como objetivo probar partes específicas del enlace, tal como el equipo multiplexor, el circuito transmisor, el circuito receptor, etc.

5.2. Mantenimiento preventivo

Por mantenimiento preventivo puede entenderse como el proceso tendiente a mantener la operabilidad de un sistema, reduciendo la probabilidad de fallas y aumentando su vida útil.

Para el caso particular que se aborda en este trabajo de tesis, el mantenimiento preventivo sugerido, consta de las siguientes tareas:

1. mantenimiento del banco de baterías
2. mantenimiento de la línea de transmisión de RF
3. monitoreo de los parámetros de los radios
4. medición del BER
5. monitoreo de la calidad de transmisión

5.2.1. Mantenimiento del banco de baterías

La vida de una batería depende en gran medida de la instalación, aplicación, mantenimiento y prueba de la batería en sí.

Las baterías se conocen de dos formas: baterías VRLA y baterías inundadas. Cuando en la industria se habla de baterías inundadas (más comúnmente se les conoce como baterías húmedas) se está haciendo referencia a cualquier tipo de batería que requiere de la adición de líquidos (electrolito, ácido, agua destilada, etc.). Algunas celdas húmedas para aplicación en telecomunicaciones, por ejemplo, pueden pesar hasta 700 libras y están llenas de electrolito.

Las baterías VRLA (Valve Regulated Lead Acid) no requieren la adición de agua. Estas emplean la tecnología AGM (Absorb Glass Mat) en la que los líquidos son absorbidos dentro del AGM.

La vida útil de una batería puede ser críticamente afectada por el método que se emplea para instalarla. Por ejemplo, las celdas y unidades, si no son colocadas propiamente, pueden caerse, resultando en tensión a la caja exterior o a las placas interiores de la batería. Los efectos del daño puede no ser notados hasta 6 o 12 meses después de la instalación.

Daños tales como rajaduras o agujeros en la caja, daños en los bornes, etc., son ejemplos de fallas debidas a problemas en la instalación y no tienen nada que ver con la calidad inherente a la unidad.

Una de las causas más comunes de fallas atribuibles a la instalación incorrecta de las baterías es la producida por el uso de lubricantes para deslizar las baterías en el rack. Muchos de los materiales utilizados en la fabricación de la caja exterior de las baterías son atacados químicamente por aquellos lubricantes cuya base principal es el petróleo. Los daños debidos a lubricantes resultarán en fallas tales como perforaciones en la caja. Desafortunadamente, las fallas de este tipo pueden hacerse notorias tal vez hasta 18 meses después de que el daño inicial fue hecho y pueden resultar en fallas catastróficas de la caja. Esto puede ocasionar que la celda se vacíe de electrolito. Por esto, es recomendable utilizar sólo aquellos lubricantes que estén aprobados por el fabricante de las baterías.

Por otro lado, el efecto que tiene la variación de la temperatura sobre la eficiencia de una batería es tan marcado que, en general, para una temperatura de 77°F la batería funciona en forma optima pero, con un incremento de tan solo 15°F la vida útil de la misma se reducirá a la mitad.

La exposición a bajas temperaturas aumentará la vida útil de la batería pero su capacidad se reducirá un 8 % por cada decremento de 15°F a partir de la temperatura ideal de operación, esto es 77°F. Por esta razón, es preferible utilizar una batería de capacidad mayor a la requerida; esto para permitir el decremento de capacidad cuando esta está sujeta a bajas temperaturas.

Sucede con frecuencia que una batería se reemplaza prematuramente sin llegar a alcanzar las expectativas que el fabricante tiene para su vida útil. Esto es consecuencia de la falta de mantenimiento.

Aún si una batería recibe solo un mínimo de mantenimiento, su vida pudiera alcanzar el límite de vida; esto es, digamos 10 o 20 años. Una batería puede ser monitoreada y ajustada por medio de tres pruebas básicas: *medición de resistencia, medición de voltaje y medición de gravedad específica.*

Cuando se trabaja con o cerca de baterías se recomienda utilizar el siguiente equipo de seguridad personal: protector facial, lentes protectores, guantes resistentes a la corrosión por ácido, botas y

herramientas con aislamiento. Se recomienda contar como mínimo con las siguientes herramientas: juego de llaves hexagonales, voltímetro, amperímetro, medidor de resistencia o impedancia, un hidrómetro y un termómetro (estos dos últimos generalmente se proveen junto con el banco de baterías).

Toda batería requiere una medición periódica de la resistencia. La falta de tal prueba puede dar origen a una conexión de alta resistencia, lo cual puede decrementar la capacidad disponible. De hecho, un cambio de $100 \mu\Omega$ es significativo. Además, cuando los voltajes no son chequeados regularmente, una batería entra en estado de desecualización el cual conlleva el decremento en la capacidad disponible y en la vida útil de la misma. La tabla II muestra la relación existente entre el voltaje en terminales y el porcentaje de carga para una batería típica de 12 voltios.

tabla II : Relación entre la tensión de una batería y su estado de carga

Tensión (V)	Porcentaje de carga completa
13.0	100 %
12.5	80 %
12.1	60 %
11.7	40%
11.5	20 %
11.0	00 %

Recomendación: antes de realizar el mantenimiento de un banco de baterías, el personal de mantenimiento ha de tener conocimiento de los riesgos que conlleva el trabajar con baterías de plomo-acido.

Las celdas húmedas también requieren otra prueba, esto es, la medición de la gravedad específica. La falta de prueba periódica de la gravedad específica ocasionará en la celda una estratificación (endurecimiento de las placas) y esto, puede también significar una pérdida de capacidad.

La tabla III muestra la relación existente entre la gravedad específica y el porcentaje de carga de la batería.

tabla III : Relación entre gravedad específica de una batería y su estado de carga

Gravedad específica	Porcentaje de carga completa
1.280	100 %
1.250	80 %
1.220	60 %
1.200	40 %
1.170	20 %
1.140	00 %

5.2.2. Mantenimiento de la línea de transmisión de RF

El tramo de RF que comunica el transreceptor de microondas con la antena está constituido por un cable coaxial tipo "Helixax *".

El mantenimiento del cable coaxial es fundamental para alargar su vida útil así como para mantener los enlaces de la red en perfectas condiciones operativas. Esto se debe al hecho de que el interior del cable tiene que estar libre de humedad, pues de no ser así, la humedad dará origen a pérdidas considerables en la potencia de la señal de RF.

El procedimiento de mantenimiento es el siguiente:

1. Localizar el deshidratador.
2. Tomar lectura del nivel de presión al que está comprimido el aire dentro del cable. Esta lectura se toma del indicador analógico situado en la parte frontal del deshidratador.
3. Comparar este valor con el valor especificado en las hojas de certificación. Si el valor medido fuera menor al especificado puede ser que exista una fuga de presión en el mismo deshidratador, en alguno de los conductores terminales del cable o en el mismo cable.
4. Verificar el estado del "silica gel", que es un compuesto químico absorbente de la humedad. El silica gel puede observarse a través de

* Cable heliax: tipo especial de cable coaxial empleado generalmente para transmitir señales de muy alta frecuencia. Es fabricado por Andrew Corporation.

una pequeña ventanilla localizada en la parte frontal del deshidratador. El color del silica gel generalmente es el azul. Si éste está en buen estado, mantendrá su color original; en cambio, si necesita cambiarse, tendrá un color violeta pálido.

Se recomienda llevar un control de qué tan frecuente es necesario cambiar el silica gel. Si esto se hace con bastante frecuencia, puede ser que exista humedad dentro del cable. Si este es el caso, se recomienda pruebas más especializadas para determinar el estado de la línea de transmisión.

5.2.3. Monitoreo de los parámetros de los radios

La red de microonda está estructurada en base a tres modelos de equipos de radio, los cuales difieren entre sí en su capacidad de transmisión. Estos son: NL101, NL111 y NL143. Para más detalles referirse al capítulo 3.

Cada uno de los radios cuenta con el mecanismo necesario para poder monitorear algunos de los principales parámetros operativos del equipo, tal como el voltaje de alimentación y el nivel de AGC (Automatic Gain Control).

El NL101 cuenta con un medidor analógico que forma parte del grupo supervisorio (Supervisory Group), mientras que el NL111 y el NL143 están provistos con un medidor digital. Estos medidores cuentan con un selector de botón rotatorio por medio del cual es posible seleccionar el parámetro que se desea medir.

Se recomienda tomar nota de estas lecturas para así poder formar un registro en el que se pueda observar cómo varían los parámetros cada vez que se realiza la medición. Es importante tener a la mano las hojas de certificación de cada radio. En estas hojas se indican los valores óptimos que han de tener los parámetros del sistema. Contra estos valores especificados ha de compararse los valores medidos. Un dato muy importante que aparece en estas hojas es la curva de AGC, en la que se muestra como debe variar, en condiciones normales, el nivel de AGC en función del nivel de recepción de la señal de RF.

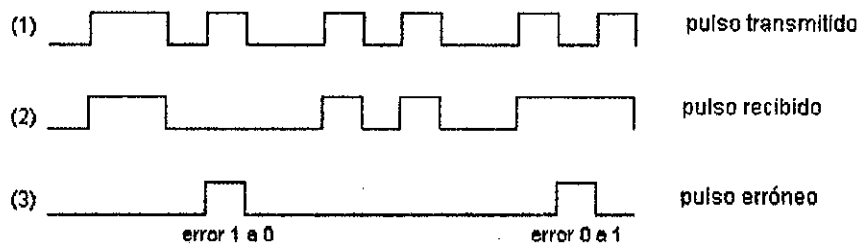
5.2.4. *Medición del BER*

En un sistema de radio digital, el principal parámetro que permite determinar su estado operativo es el denominado BER (Bit Error Rate). La medición de BER se aplica para chequear las características de un equipo en sí tal como un transmisor-receptor, así como las características propias de una línea de transmisión.

Generalmente, todas las características de un transreceptor de un sistema de microonda digital son evaluadas cuantitativamente por la medición de BER. Para más detalles sobre el BER, referirse al apéndice A, en el cual se da una breve descripción de las normas internacionales relacionadas con la medición del BER.

La tasa de error de bit (BER) puede ser medida como se muestra en la figura 49 al comparar los pulsos transmitidos (1) con los pulsos recibidos (2), detectando la coincidencia de polaridad de ambos pulsos y contando los pulsos erróneos (3) por unidad de tiempo.

figura 49. Detección de pulso erróneo.



Los patrones de pulsos generalmente usados para medición de BER son: patrón periódico, patrón aleatorio y patrón pseudo-aleatorio. El patrón aleatorio es el que se prefiere pues se aproxima al código de transmisión real y permite medir todas las respuestas de trayectorias de transmisión y equipo de transmisión, debido a que el patrón aleatorio tiene todas las componentes de frecuencia posibles.

El tipo de patrón utilizado para la medición de BER depende del hecho de que si el transmisor y el receptor incluidos en el sistema bajo medición están en el mismo punto físico o se encuentran en diferentes localidades.

Cuando el transmisor y el receptor del sistema que se está midiendo están en el mismo lugar, el pulso aplicado se retarda por el tiempo correspondiente al tiempo de transmisión del sistema medido y se compara con el pulso regenerado para obtener la tasa de error de bit. En este caso, tanto el tren de pulsos aplicado como el tren de pulsos comparado son medidos por el mismo equipo generador de patrones. Por tanto, el tren de pulsos de prueba puede ser periódico, aleatorio o bien pseudo-aleatorio, dependiendo de la precisión que se requiera de la medición.

En el caso en el que el transmisor y el receptor están en lugares separados, el mismo patrón de pulsos aplicado al transmisor ha de ser aplicado también al receptor para efectos de comparación. El pulso de reloj tomado de el tren de pulsos recibidos y el pulso de trama son usados para comparar el tren de pulsos sincronizado por el pulso de

trama con el tren de pulsos regenerado en el receptor. De esta comparación se obtiene la tasa de error de bit (BER). Sin embargo, es difícil generar los mismos patrones aleatorios tanto en el lado del transmisor como en el lado del receptor cuando el transmisor y el receptor se encuentran en lugares separados. Por esta razón, la medición de BER requiere el empleo de un patrón pseudo-aleatorio el cual puede ser más fácilmente reproducible y se aproxima a un patrón aleatorio.

La figura 50 muestra la forma de realizar mediciones de BER utilizando el analizador de trama PRA-1. La parte (a) muestra las conexiones a realizar en enlaces que solo tienen multiplexación de primer orden. La parte (b) muestra el caso para enlaces con multiplexación de segundo orden y, finalmente, la parte (c) se muestra el caso de enlaces con multiplexación de tercer orden.

Para la realización de la medición se requiere del siguiente equipo:

- analizadores de trama PRA-1
- juego de cables de interconexión

Procedimiento:

1. Configurar cada analizador PRA-1 con los siguientes parámetros:
(Para más detalles específicos a la medición de BER referirse al manual de operación del analizador de trama y señalización PRA-1 de Wandel&Goltermann).

Lado remoto:

Modo: TX/RX separated

TX: ON

RXA, RXB: OFF

Impedancia: 75 Ω

Código de línea: HDB-3

Lado cercano:

Modo: TX/RX separated

TX, RXB: OFF

RXA: ON

Impedancia: 75 Ω

Código de línea: HDB-3

2. Conectar los PRA-1 conforme a lo indicado en la figura 50.
3. Tomar la lectura del valor de BER, anotar su valor y compararlo con el valor especificado en las hojas de certificación.

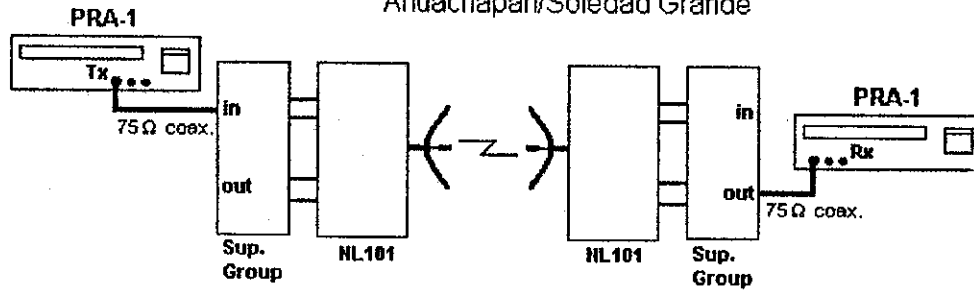
En la figura 51 se muestra otra forma de realizar la medición de BER. Para esto es necesario emplear el equipo de medición modelo K4303 de Siemens; este es un equipo para análisis de trenes digitales en 2.048 Mbit/s, 8.448 Mbit/s, 34.368 Mbit/s y 139.264 Mbit/s de acuerdo con las recomendaciones de la CCITT. Puede utilizarse otro equipo con características similares a las del K4303.

figura 50. Medición de BER. Opciones a, b y c

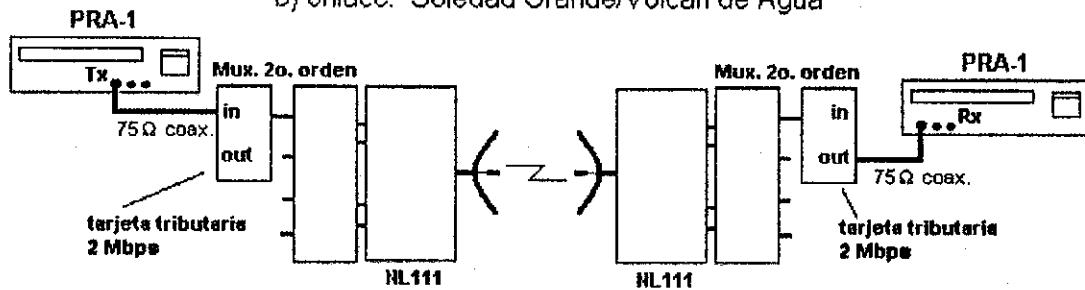
Extremo remoto

Extremo local

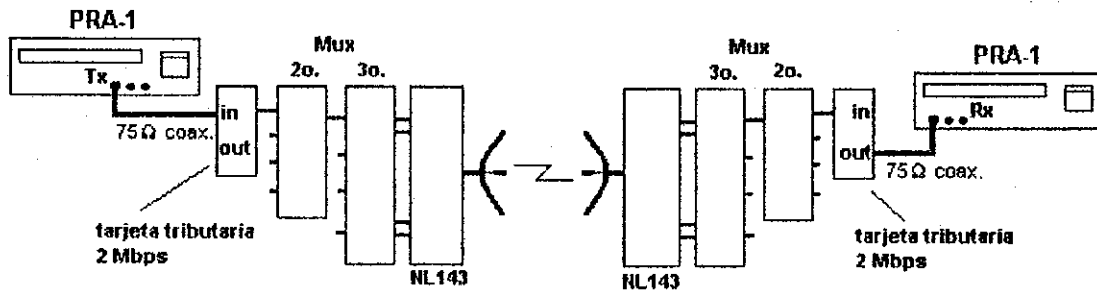
a) enlaces: Guate-Este/Volcán de Agua,
Ahuachapán/Soledad Grande



b) enlace: Soledad Grande/Volcán de Agua



c) enlace: Guate-Sur/Volcán de Agua



5.2.5. Análisis de trama

Otra prueba que puede realizarse para determinar la forma en la que se encuentra operando un enlace es la prueba o análisis de trama.. Esta prueba tiene como objetivo monitorear sistemas de transmisión digital que se encuentran en servicio, por medio de la medición de bit erróneos en las señales de alineamiento de trama y la adquisición de alarmas.

Para esta prueba será necesario utilizar el equipo de medición K4303 de Siemens u otro similar.

El K4303 permite analizar las siguientes estructuras de trama:

- 2 Mbit/s según recomendación CCITT G.704
- 8 Mbit/s según recomendación CCITT G.742, tabla 1
- 34 Mbit/s según recomendación CCITT G.751, tabla 1
- 140 Mbit/s según recomendación CCITT G.751, tabla 2

Pueden realizarse las siguientes mediciones:

- Taza de error de bit (bit error rate), conteo de error de bit (bit error count) y disponibilidad de acuerdo a la recomendación CCITT G.821: comparación de la señal digital recibida con el patrón transmitido. Cada desviación de un bit a partir del patrón de bit es detectado como un error de bit.
 - *Bit error ratio*: relación de los errores de bit transmitidos al número total de bits transmitidos.

- *Bit error count*: total de errores de bit durante el intervalo de medición y tiempo total de la medición.
- *disponibilidad*: medición de todos los parámetros de calidad.
- Medición de error de código: medición de violaciones de código en puntos de medición protegidos, para sistemas que se encuentran en operación.
- Taza de error de código (code error ratio): relación del número de violaciones de código al número total de bits transmitidos.
- Conteo de errores de código (count error code): total de errores de código durante en intervalo de medición y el tiempo total de medición.

La figura 52 muestra un diagrama esquemático de las posibles conexiones del K4303 dependiendo de la trama que se requiera analizar.

5.2.6. Monitoreo de la calidad de transmisión

Una última prueba que puede hacerse durante el proceso de mantenimiento preventivo es observar la calidad de la señal en banda base recibida, para poder compararla con la señal original transmitida en el extremo remoto. Esto con la finalidad de verificar que el enlace se encuentre operando óptimamente.

Esta prueba permitirá tener una idea del nivel de desempeño en el que se encuentra operando un determinado enlace como un todo.

Figura 51. Medición de un sistema de transmisión utilizando dos instrumentos K4303 de Siemens

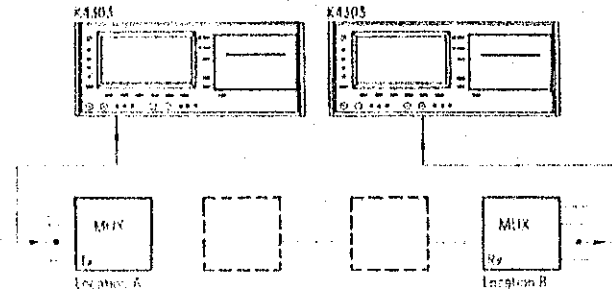
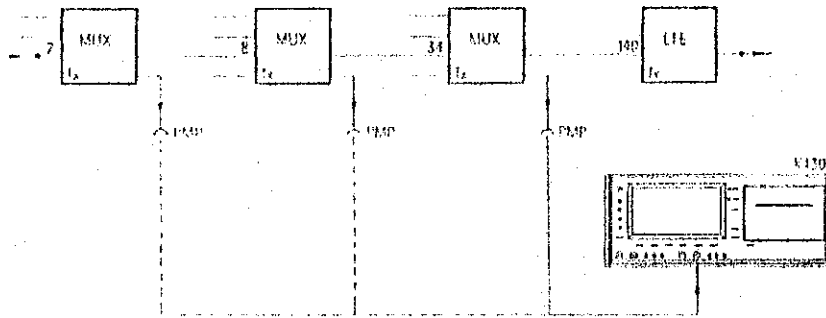


figura 52. Monitoreo en servicio con el K4303



Para efectos prácticos, puede establecerse tres niveles de desempeño. Éstos son:

Fuera de servicio: implica que no existe flujo de información entre las dos estaciones que componen el enlace punto a punto.

Puede darse el caso de que este problema se presente solo en un sentido de propagación o en ambos sentidos.

Funcionamiento degradado: implica que aunque se logra establecer la comunicación bidireccional entre las dos estaciones, ésta es ineficiente como consecuencia de la presencia de ruido, atenuación excesiva o interferencia.

Funcionamiento óptimo: implica que en todo tiempo se mantiene la comunicación bidireccional con un alto grado de confiabilidad y eficiencia.

Para esta prueba será necesario el siguiente equipo :

- 2 osciloscopios. (uno para cada extremo del enlace)
- 2 generadores de señales. (uno para cada extremo del enlace)

*Procedimiento:**

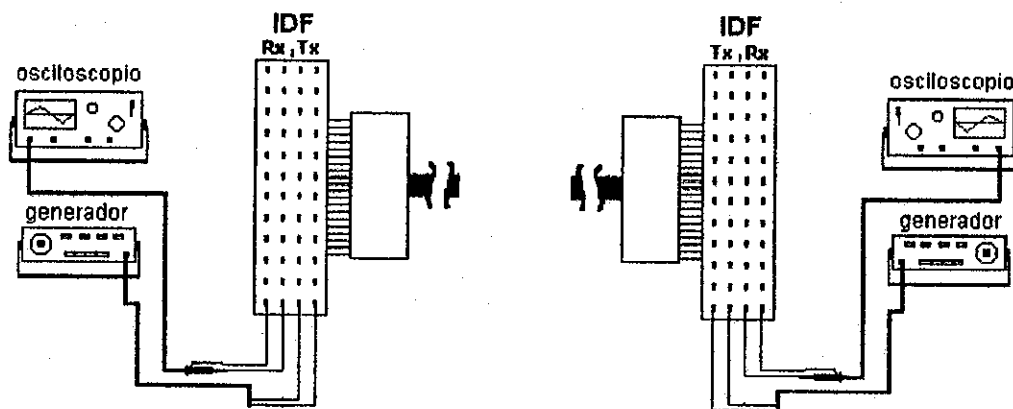
Referirse a la figura 53.

1. Localizar en el IDF un canal disponible (libre).
2. Conectar un generador de señales en el circuito TX en cada uno de los dos extremos del enlace. Asegurarse de que se hagan las conexiones en el canal seleccionado en el inciso anterior.

* Para esta prueba será necesario hacer uso del canal de servicio.

3. Conectar un osciloscopio en el circuito RX en cada uno de los extremos del enlace. Canal seleccionado.
4. Configurar los generadores de tal forma que en su salida se tenga un nivel de aproximadamente 0 dB.
5. Variar la frecuencia de la señal de salida de los generadores y observar el comportamiento del sistema. En condiciones de operación normales, la respuesta del sistema será casi constante en el intervalo que va desde 300 a 3,400 Hz.
6. Hacer las anotaciones que se estimen pertinentes.

figura 53. Análisis de la calidad de transmisión.



5.3. Mantenimiento correctivo

Esta sección tiene como fin primordial ayudar en la localización de desperfectos y proveer sus posibles soluciones.

El primer indicio de la necesidad de aplicar un procedimiento correctivo es la aparición de estados de alarma en el panel central de alarmas localizado en Guatemala Sur. Al observar el panel de alarmas se tendrá una idea de las posibles fallas en el sistema. En este panel se indican estados de alarma como: enlace fuera de servicio, alarma de radio regular, alarma de radio de respaldo, alarma de multiplexor y falla en el suministro de voltaje. Esto se indica para cada una de las estaciones.

A continuación se da una breve interpretación de los estados de alarma:

- *enlace fuera de servicio*: indica que se ha interrumpido el flujo de información bidireccional entre las dos estaciones que integran el enlace punto a punto. Cuando se presenta esta alarma, se presentarán alarmas de multiplexor, radios y/o suministro de voltaje para ese enlace.
- *alarma de radio regular*: esta alarma indica que debido a desperfectos, el radio regular se encuentra fuera de servicio. En este caso, la comunicación se mantiene a través de los radios de respaldo.
- *alarma de radio de respaldo*: esta alarma indica que debido a desperfectos, el radio de respaldo se encuentra fuera de servicio. En el caso de presentarse alarma tanto para el radio regular como para el

radio de respaldo, la comunicación se interrumpirá totalmente y, como consecuencia de esto, aparecerá una alarma de enlace fuera de servicio.

- *alarma de multiplexor*: esta alarma aparece para indicar problemas en la transmisión tales como: BER excesivo en la señal recibida y/o pérdida de sincronismo. Esta alarma también puede indicar desperfectos en el propio equipo multiplexor.
- *falla en el suministro de voltaje*: esta alarma indica que se ha presentado algún desperfecto en el equipo rectificador que carga el banco de baterías de 48 VDC que alimenta a los equipos de radio.

Después de tener a la vista las alarmas del sistema, será necesario desplegar el personal y equipamiento técnico hacia el punto (o puntos si fuese el caso) que presenta estados de alarma.

Antes de dar inicio al mantenimiento correctivo, se recomienda realizar las pruebas listadas en la sección titulada "Mantenimiento Preventivo" de este capítulo. Esto permitirá tener una idea más precisa de las posibles fallas en el enlace bajo análisis.

Los procedimientos que a continuación se detallan tienen como fin detectar averías en partes específicas de la red, de tal cuenta que los mismos se encuentran agrupados de la siguiente forma:

1. loop de multiplexor de primer orden
2. loop de multiplexor de segundo orden
3. loop de multiplexor de tercer orden

4. medición de frecuencia en oscilador de microondas
5. medición de la potencia de salida
6. análisis de espectro

5.3.1. loop de multiplexor de primer orden

Equipo requerido :

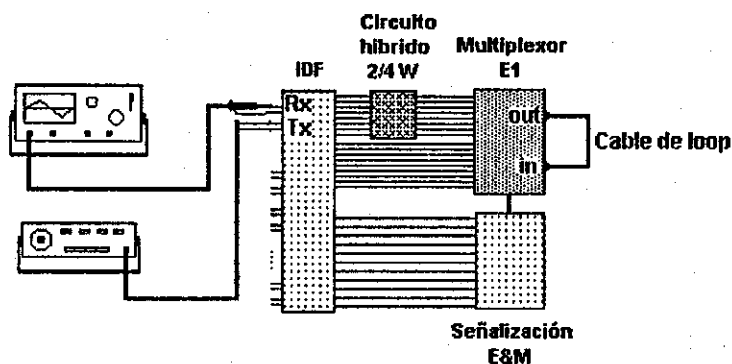
- 1 osciloscopio
- 1 generador de señales
- 1 cable de interconexión para loop de multiplexor

procedimiento: (se recomienda desconectar aquellos equipos especializados tales como RTU's que puedan estar conectados a los canales de audio)

1. apagar el equipo de radio y el multiplexor. Esto puede hacerse en la caja de flip-ones asociada al equipo.
2. desconectar los cables que comunican el multiplexor con el radio (o con el multiplexor de segundo orden, según sea el caso).
3. conectar el cable de loop tal como se ve en la figura 54.
4. localizar un canal libre en el IDF. Conectar el osciloscopio en el circuito de RX y el generador de señales en el circuito de TX.

5. variar la frecuencia y el nivel de la señal de salida del generador y observar el comportamiento del equipo a través del osciloscopio.

figura 54. Loop de multiplexor de primer orden



Interpretación de resultados:

Si al realizar el loop, desaparecen todas las alarmas en los módulos del multiplexor, puede decirse que el multiplexor opera sin problemas tanto en la transmisión como en la recepción de 2,048 kbps. Si este no es el caso, se recomienda reemplazar la tarjeta controladora de transmisión, controladora de recepción, o ambas.

Si la señal observada en el osciloscopio corresponde a la señal generada por el generador de señales (es decir que no hay presencia de deformaciones ni ruido en la señal recibida), entonces puede concluirse que las tarjetas de canales del multiplexor y las del circuito híbrido se encuentran en perfectas condiciones. Si este no es el caso, es necesario cambiar la tarjeta de canales asociada al canal bajo análisis*. Si el problema persiste, ha de cambiarse la tarjeta de circuito híbrido 2/4 hilos asociada.

5.3.2. Loop de multiplexor de segundo orden

Esta prueba tiene como objetivo verificar la forma en que se encuentran operando las tarjetas asociadas al multiplexor de segundo orden.

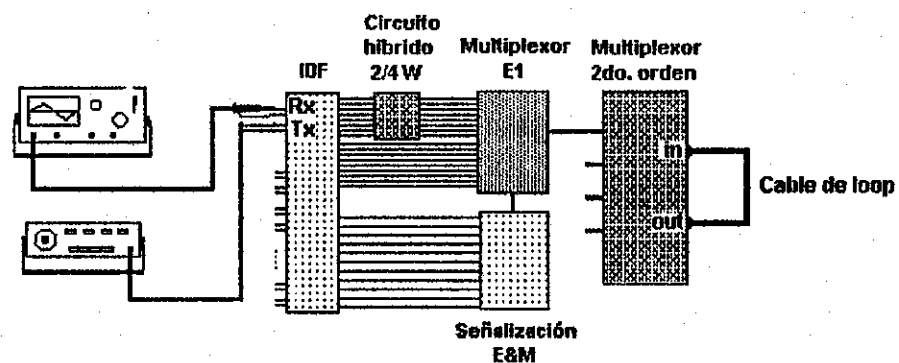
Para realizar esta prueba es necesario haber realizado con anterioridad la prueba de loop de multiplexor de primer orden; esto con el objeto de tener la certeza de que cualquier posible falla detectada sea producto de desperfectos en el multiplexor de segundo orden.

* Debido a que cada tarjeta de canales del multiplexor controla 8 canales, se recomienda repetir los pasos 1.4 y 1.5 para un canal de cada tarjeta

Procedimiento:

1. apagar el equipo de radio y el multiplexor.
2. desconectar los cables que comunican el multiplexor de segundo orden con el multiplexor de tercer orden.
3. conectar el cable de loop tal como se muestra en la figura 55.
4. repetir los pasos 4,5 y 6 de la prueba de loop de primer orden.

figura 55. Loop de multiplexor de segundo orden



Interpretación de resultados:

Si no se observa ninguna señal en el osciloscopio, o hay presencia de señal pero corrompida con altos niveles de ruido, entonces algún módulo del multiplexor de segundo orden está defectuoso y por consiguiente habrá que reemplazarlo.

Se recomienda reemplazar primero el módulo de fuente de tensión. Si el problema persiste, reemplazar la tarjeta tributaria de 2 Mbps a la que el multiplexor de primer orden está conectado. En último caso, reemplazar la tarjeta controladora de multiplexación.

5.3.3. Loop de multiplexor de tercer orden

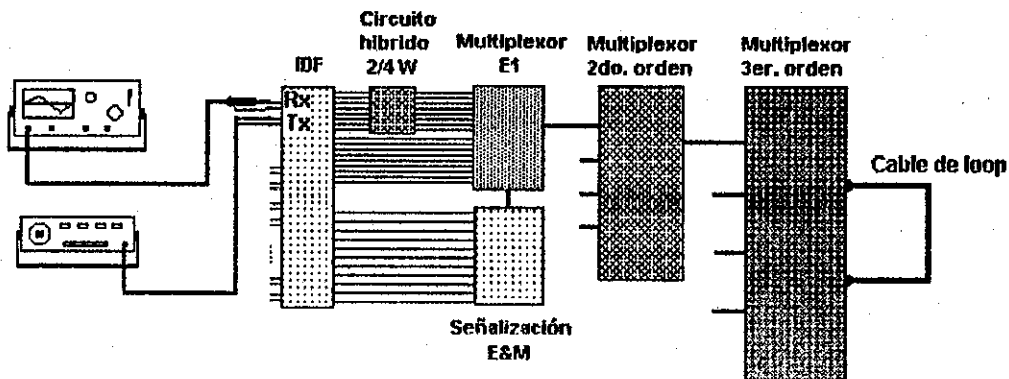
Esta prueba tiene como objetivo verificar la forma en que se encuentran operando los módulos que forman parte del multiplexor de tercer orden.

Para realizar esta prueba es necesario efectuar antes la prueba de multiplexor de segundo orden.

Procedimiento:

1. apagar el equipo de radio y el multiplexor.
2. desconectar los cables que comunican el multiplexor de tercer orden con el radio NL143.
3. conectar el cable de loop como se muestra en la figura 56.
4. repetir los pasos 4, 5 y 6 de la prueba de loop para multiplexor de primer orden.

figura 56. Loop de multiplexor de tercer orden



Interpretación de resultados:

Si no se observa ninguna señal en el osciloscopio, o hay presencia de señal pero corrompida con altos niveles de ruido, entonces algún módulo del multiplexor de tercer orden está defectuoso y por consiguiente habrá que reemplazarlo.

Se recomienda reemplazar primero el módulo de fuente de tensión. Si el problema persiste, reemplazar la tarjeta tributaria de 8 Mbps. En último caso, reemplazar la tarjeta controladora de multiplexación.

5.3.4. Medición de frecuencia en oscilador de microondas

El objetivo de esta prueba es determinar la forma en que se encuentra operando el circuito generador de microondas tanto para la parte de transmisión como para la de recepción.

El generador de microondas básicamente está constituido por un oscilador de cavidad resonante el cual es controlado por un oscilador de cristal piezoeléctrico.

El oscilador de cristal genera una señal que se introduce en la terminal de control de la cavidad resonante, la cual genera una señal de microonda cuya frecuencia es exactamente igual a 16 veces la frecuencia del oscilador de cristal.

El primer paso para probar el oscilador es verificar si existe estado de alarma. Esto puede determinarse por medio del LED localizado en la parte superior del oscilador. Si el LED está apagado esto indica que no hay estado de alarma; por el contrario, si está encendido, hay alarma.

El hecho de que el oscilador presente alarma indica que hay pérdida de sincronismo entre la señal generada por la cavidad resonante y la señal generada por el oscilador de cristal. En otras palabras, la cavidad resonante se encuentra oscilando fuera de control.

Para corregir este problema, será necesario ajustar el nivel y la frecuencia de la señal generada por el oscilador de cristal. Para más detalles referirse al manual de operación del radio NL 101.

La figura 57 muestra el diagrama de bloques del oscilador de microondas. En esta figura se muestran los puntos de prueba en los que ha de conectarse los equipos de medición.

Hay que hacer notar que este procedimiento es aplicable tanto para el oscilador de transmisión como para el oscilador de recepción. La única diferencia que existe entre estos osciladores es que el oscilador del transmisor tiene incorporado un modulador de FM cuya función es modular la señal generada por el oscilador de cristal con la señal proveniente del canal de servicio.

Los valores de frecuencia exactos se encuentran anotados en la parte exterior de la cubierta de los osciladores.

Como se indica en la figura 57 la medición de frecuencia puede hacerse con un osciloscopio (de preferencia digital), lo cual permite observar la forma de la onda, que en condiciones normales es senoidal. Sin embargo, un dato más preciso del valor de la frecuencia puede conseguirse con la ayuda de un frecuencímetro.

Equipo necesario :

- Osciloscopio digital Hewlett Packard HP 54711A
- Frecuencímetro Anritsu MF76A

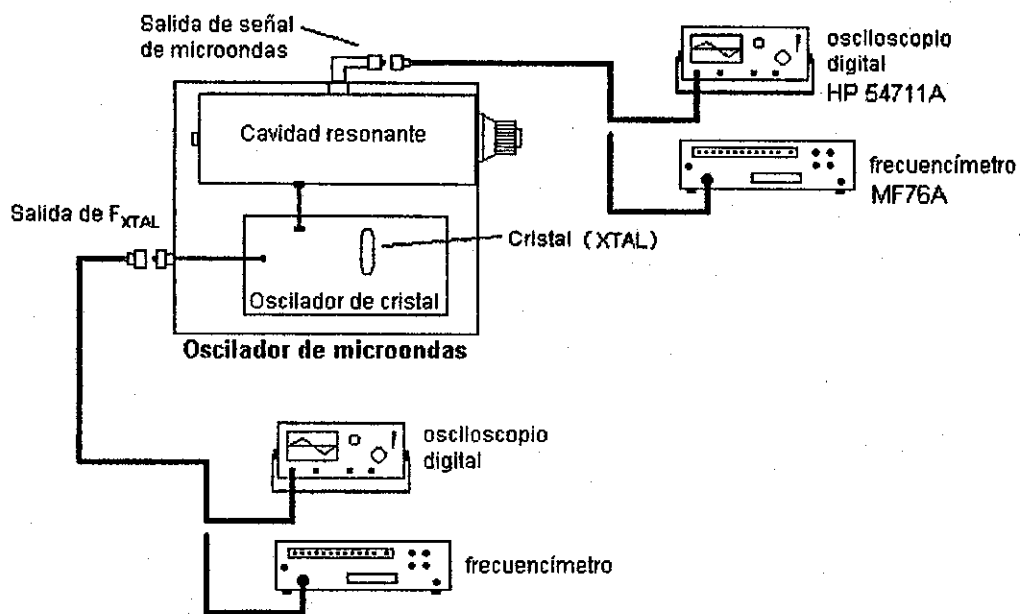
Procedimiento:

1. localizar el punto de prueba para medir la señal de salida del oscilador de cristal (XTAL OUT).
2. conectar el conectar el osciloscopio en este punto y observar la forma de onda de salida.
3. conectar el frecuencímetro y medir la frecuencia de la señal en ese mismo punto.
4. hacer las anotaciones respectivas.
5. localizar la terminal de salida de la cavidad resonante (OSC OUT).
6. conectar el osciloscopio en este punto. Para esto será necesario apagar el radio y desconectar el conector coaxial que une la salida de

la cavidad resonante con el resto de circuitos del radio. Después de esto ya es posible conectar el osciloscopio (utilizar el conector adecuado). Ahora es posible encender el radio.

7. observar la forma de onda de salida. Ha de ser senoidal.
8. conectar en frecuencímetro en ese mismo punto. Para ésto se recomienda apagar el radio, y una vez conectado el frecuencímetro se puede volver a encender el radio.
9. tomar lectura de la frecuencia de salida y compararla con el valor especificado en la parte exterior del oscilador o en las hojas de certificación.
10. hacer las anotaciones respectivas.

figura 57. Medición de frecuencia para un oscilador de microondas



5.3.5. Medición de la potencia de salida

Al igual que la medición de frecuencia, la medición de potencia arroja un dato fundamental para determinar el estado de un radio de microondas.

La figura 58 muestra un diagrama esquemático de como realizar esta medición.

Equipo necesario:

- Medidor de potencia Hewlett Packard HP 435B
- Sensor coaxial Hewlett Packard

Procedimiento:

1. si el radio esta encendido, apagarlo. Esto puede hacerse directamente en la caja de flip-ones o bien desconectando el conector de alimentación del radio.
2. desconectar el conector de salida de RF del radio de tal forma que no exista conexión entre el radio y el cable coaxial que comunica con la antena. Nota: nunca realizar este procedimiento sin estar plenamente seguro que le radio está apagado. Si el radio esta encendido al momento de desconectar la línea de RF, puede dañarse seriamente el amplificador de potencia del radio. Lo mismo puede

ocurrir si se enciende el radio sin que su salida de RF se encuentre conectada a la línea de RF o a una carga fantasma adecuada.

3. calibrar el medidor de potencia HP 435B. Para detalles al respecto, referirse al manual operativo del equipo.
4. conectar el medidor de potencia al conector de RF del radio.
5. encender el radio. Cerciorarse que el equipo multiplexor esté encendido y conectado a la entrada de datos del radio.
6. registrar la lectura del medidor.
7. hacer las anotaciones respectivas.
8. apagar el radio.
9. desconectar el medidor de potencia.
10. volver a conectar el radio a la línea de RF.

5.3.6. Análisis de espectro de la señal de salida

El analizador de espectro es uno de los instrumentos de medición más útiles para los equipos de radio de microonda digital. Para propósitos de mantenimiento, el analizador de espectro es útil para monitorear la existencia de posibles mediciones fuera de banda y

asegurar que estas permanezcan dentro de niveles aceptables. Este equipo es utilizado también para detectar fallas, específicamente en las etapas de RF y de IF.

El analizador de espectro es utilizado para analizar características que son difíciles de observar en el dominio del tiempo, tal como la distorsión armónica, ruido armónico y la banda de frecuencia ocupada por una señal digital. El analizador reemplaza el dominio del tiempo del osciloscopio con el dominio de la frecuencia, y despliega los niveles de las componentes de frecuencia derivadas de señales eléctricas. La figura 59 muestra el diagrama esquemático de la medición de espectro.

Equipo necesario:

- Analizador de espectro Hewlett Packard HP 8594E .

Procedimiento:

1. si el radio esta encendido, apagarlo. Esto puede hacerse directamente en la caja de flip-ones o bien desconectando el conector de alimentación del radio.
2. desconectar el conector de salida de RF del radio de tal forma que no exista conexión entre el radio y el cable coaxial que comunica con la antena. Nota: nunca realizar este procedimiento sin estar plenamente seguro que le radio está apagado. Si el radio esta encendido al momento de desconectar la línea de RF, puede dañarse

seriamente el amplificador de potencia del radio. Lo mismo puede ocurrir si se enciende el radio sin que su salida de RF se encuentre conectada a la línea de RF o a una carga fantasma adecuada.

3. configurar el analizador de espectro HP 8594E. Para detalles al respecto, referirse al manual operativo del equipo.
4. conectar el analizador de espectro al conector de RF del radio.
5. encender el radio. Cerciorarse que el equipo multiplexor esté encendido y conectado a la entrada de datos del radio.
6. observar el espectro de la señal de salida del transmisor de RF.
7. hacer las anotaciones respectivas y comparar los resultados con lo estipulado por el fabricante en las hojas de certificación.
8. apagar el radio.
9. desconectar el analizador de espectro.
10. volver a conectar el radio a la línea de RF.

figura 58. Medición del nivel de potencia de salida

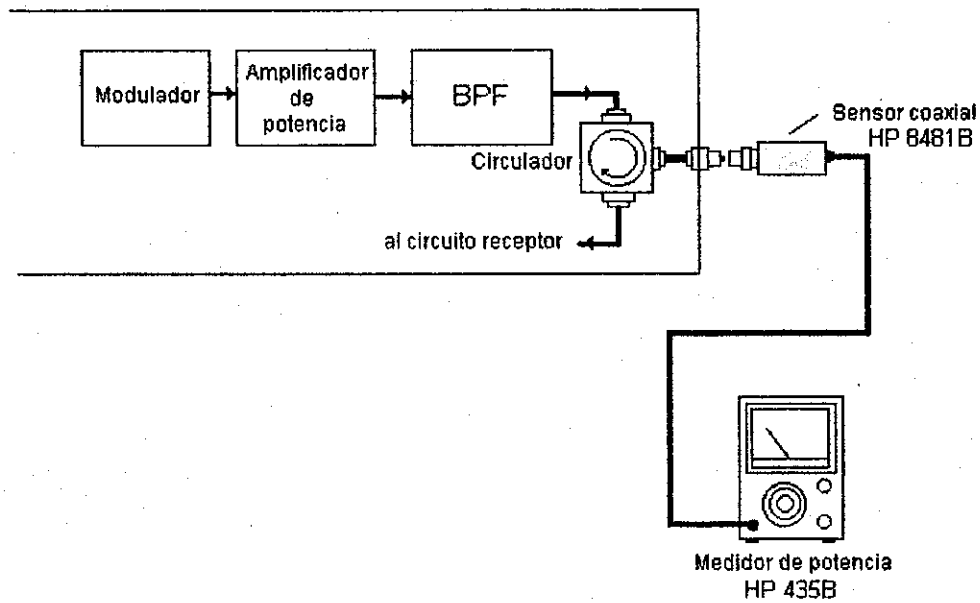
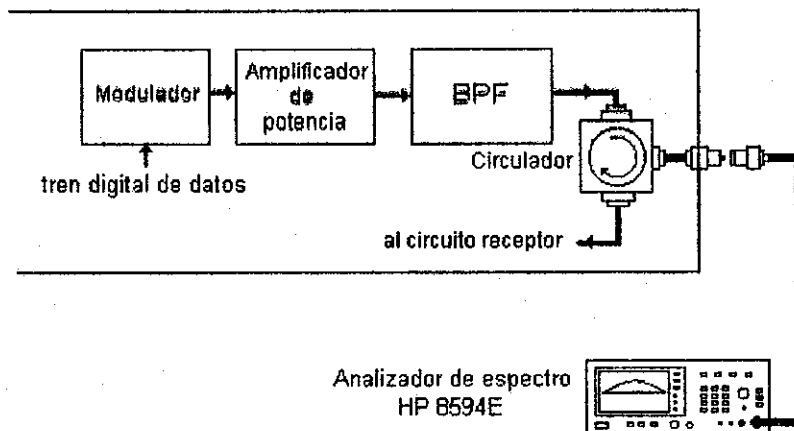


figura 59. Monitoreo del espectro de una señal de microondas



5.4. Descripción de un protocolo de pruebas

En las hojas siguientes se presenta un protocolo de pruebas típico para estaciones de microonda digital. Con la ayuda de este protocolo es posible realizar el mantenimiento preventivo de una forma eficiente además de que es posible llevar un control sistemático de las mediciones realizadas en el sistema.

A continuación se da una descripción de cada una de las casillas que han de llenarse al momento de realizar las mediciones.

En las hojas 1 y 2 se ha de anotar toda la información descriptiva del equipo existente en la estación a la cual se le dará mantenimiento. Estas hojas han de llenarse únicamente la primera vez que se de mantenimiento.

En la primera parte se indica el tipo y nombre de la estación. Seguidamente se ha de anotar información referente a la ubicación de la estación.

Hay una sección en la cual se ha de anotar información relacionada con el equipo de radio, multiplexor, cargador de baterías, banco de baterías, línea de transmisión y antena.

En la hoja 3 se anotan los valores medidos en cada una de las mediciones realizadas en el sistema. A continuación se da una breve descripción del significado de cada uno de los renglones de anotación.

5.4.1. Etapa de radio

- Po: indica el valor medido del nivel de potencia de salida. Esta medición se realiza con la ayuda de un medidor de potencia y un sensor coaxial. Para más detalles de como realizar esta medición referirse al apartado No. 3 "medición de potencia de salida" de la sección "mantenimiento correctivo" del presente capítulo.
- F (TX): valor medido de la frecuencia de la portadora de RF de transmisión. Para más detalles referirse al apartado No. 4 "medición de frecuencia en oscilador de microondas" de la sección "mantenimiento correctivo" del presente capítulo.
- FXTAL (TX): valor medido de la frecuencia generada por el oscilador de cristal de la etapa de transmisión. (Algunos equipos poseen un punto de prueba en el cual puede medirse la frecuencia del oscilador de cristal. Para el caso del equipo NERA la frecuencia de la portadora de RF de transmisión ha de ser igual a dieciséis veces la frecuencia del oscilador de cristal.
- F (RX): valor medido de la frecuencia de la portadora de RF de recepción. Para más detalles referirse al apartado No. 4 "medición de frecuencia en oscilador de microondas" de la sección "mantenimiento correctivo" del presente capítulo.

- **FXTAL (RX):** valor medido de la frecuencia generada por el oscilador de cristal de la etapa de recepción. (Algunos equipos poseen un punto de prueba en el cual puede medirse la frecuencia del oscilador de cristal. Para el caso del equipo NERA la frecuencia de la portadora de RF de recepción ($F (RX)$) ha de ser igual a dieciséis veces la frecuencia del oscilador de cristal ($FXTAL(RX)$).
- **nivel de AGC:** valor medido de AGC (Automatic Gain Controler). El valor de AGC es generado por un circuito denominado controlador automático de ganancia, el cual es un amplificador de ganancia variable y controlada por voltaje. Cuando el nivel de señal recibida por el receptor de RF es bajo, el circuito de AGC opera con ganancia alta con el fin de compensar el valor bajo de recepción. En el caso cuando el nivel de recepción es relativamente alto el circuito de AGC opera con un nivel de ganancia menor al del caso anterior, lo cual mantiene constante el nivel de recepción visto por las demás etapas del receptor del radio. Conociendo el valor del voltaje que controla el circuito de AGC es posible tener una idea del nivel con que la señal transmitida por un radio remoto llega al radio que está siendo medido.. El A cada valor de AGC le corresponde un valor de nivel de recepción dado. Estos dos parámetros se relacionan mediante lo que se conoce como la curva de AGC, la cual es proporcionada por el fabricante del equipo.
- **IF frec:** valor medido de la frecuencia intermedia. Para el caso de radios de microonda digital generalmente se tiene un valor de IF de 70 o 140 MHz.

- nivel de IF: valor medido del nivel de la señal de frecuencia intermedia.

Para el caso de sistemas con redundancia 1 + 1 es necesario realizar las mediciones anteriores tanto para el radio regular como para el radio de respaldo.

5.4.2. Señal digital

- fb (TX): valor medido de la frecuencia de bit de la señal digital que sale del multiplexor. Para el caso de la señal digital que sale del multiplexor de primer orden y entra al radio la frecuencia de bit es de 2,048 Kbit/s.
- fb (RX): valor medido de la frecuencia de bit de la señal digital que sale del radio. Para el caso de la señal digital que sale del radio y entra en el multiplexor de primer orden la frecuencia de bit es de 2,048 Kbit/s.
- Vp-p (TX): valor medido de la amplitud pico a pico de la señal digital de transmisión.
- Vp-p (RX): valor medido de la amplitud pico a pico de la señal digital de recepción.

- fclock: valor medido de la frecuencia de la señal de reloj del multiplexor. Algunos multiplexores operan con un reloj interno de referencia. El valor de la frecuencia de la señal de reloj es un submúltiplo de la frecuencia de bit.
- BER: valor medido del BER. Para más detalles respecto a esta medición referirse al apartado No.4 “medición de BER” de la sección “mantenimiento preventivo” del presente capítulo.

5.4.3. Fuente de tensión

En esta sección se han de anotar los valores de voltaje que se puedan medir en los diferentes puntos de prueba existentes.

En la hoja 4 se listan las principales pruebas que se han de realizar en el sistema para determinar la calidad de operación del mismo. Se presentan los espacios necesarios para anotar los resultados de las pruebas. Las pruebas son:

- Loop local a nivel de multiplexor
- Loop local a nivel de RF
- Loop local a nivel de audio

El procedimiento para realizar cada una de estas pruebas se describe en la sección titulada “mantenimiento correctivo” del presente capítulo.

En la hoja 5 se han hacer las anotaciones que el técnico que realiza el mantenimiento estime convenientes y que puedan ser útiles para futuros trabajos en el sistema.

Para finalizar este capítulo se presenta un protocolo de prueba y medición debidamente lleno. En este es posible observar los valores medidos en un sistema típico.

Protocolo de pruebas para estaciones de microonda digital

Información general

Datos de la estación:

Nombre de la estación: _____

Tipo de estación: _____ (central, repetidora o terminal)

Enlaza a: _____ (estación a la que enlaza en dirección entrante)

Localización:

Latitud:

UTM:

Longitud:

Este:

Altura (snm):

Norte:

Equipamiento:

Radio:

Marca: _____ No. Serie _____

Modelo: _____

Características a nivel de RF

F TX (Hz) _____

F RX (Hz) _____

Po (dB) _____

Tipo de modulación: _____

Impedancia de salida _____ (desde el conector de antena)

Característica a nivel de Banda Base

Data rate: _____ (E1, 3E1, etc)

Código de línea: _____ (HDB3, AMI, etc)

Impedancia: _____ (75 ohms, 120 ohms)

bal unbal

Tensión de alimentación: _____

Multiplexor:

Marca: _____ No. Serie: _____

Modelo: _____

Data rate: _____ (E1, 3E1, etc)

Código de línea: _____ (HDB3, AMI, etc)

Impedancia: _____ (75 ohms, 120 ohms)

bal unbal

Cantidad de circuitos:

2W
4W E&M
datos síncronos
datos asíncronos
64K codireccional
64K contradireccional
RDSI
téléx
otros

tipo: _____

Tensión de alimentación: _____

Cargador de baterías:

Marca: _____
Modelo: _____

No. Serie: _____
Tipo: _____

Voltaje de entrada: _____

Voltaje de salida: _____

Corriente nominal de salida: _____

Banco de baterías:

Marca: _____
Modelo: _____

No. Serie: _____
Tipo: _____

Voltaje: _____

Capacidad nominal: _____ (amperios-hora)

Regimen de descarga: _____ (horas)

Línea de transmisión:

Tipo: _____ (coaxial, guía de ondas)

Longitud: _____

Dimensiones transversales: _____

Antena:

Tipo: _____ (yagi, parabólica, omni, sectorial)

Marca: _____

Modelo: _____

Dimensiones: _____

Ganancia: _____ (dB)

Mediciones

Fecha: _____

Nombre del técnico encargado: _____

Nombre del asistente: _____

Etapa de radio:

Radio regular

Po: _____

F (TX): _____

F (TX) XTAL: _____

F (RX): _____

F (RX) XTAL: _____

nivel de AGC: _____

IF frec

nivel de IF: _____

Radio de respaldo

Po: _____

F (TX): _____

F (TX) XTAL: _____

F (RX): _____

F (RX) XTAL: _____

nivel de AGC: _____

IF frec

nivel de IF: _____

Señal digital:

fb (Tx): _____

fb (Rx): _____

f clock: _____

BER: _____

Vp-p (Tx) _____

Vp-p (Rx) _____

Fuente de tensión:

Voltaje del banco de baterías: _____

Vtp1 (+48V): _____

Vtp2 (+12V): _____

Vtp3 (+ 5V): _____

Vtp4 (- 5 V): _____

Observaciones: _____

Pruebas

Loop local a nivel de multiplexor

Resultados de la prueba:

Loop local a nivel de RF

aplica no aplica

Resultados de la prueba:

Loop remoto a nivel de canal de audio (prueba de calidad de transmisión)

Canal No.

Resultados de la prueba:

Observaciones:

Protocolo de pruebas para estaciones de microonda digital

Información general

Datos de la estación:
Nombre de la estación: Guatemala Este
Tipo de estación: terminal (central, repetidora o terminal)
Enlaza a: Volcan de Agua (estación a la que enlaza en dirección entrante)

Localización:
Latitud: 14°32'17.3" UTM: 15
Longitud: 90°28'21.6" Este: 772.363 km
Altura (snm): 1930 Norte: 1608.653 km

Equipamiento:

Radio:
Marca: Nera No. Serie NL 14236-2
Modelo NL-10LAB

Características a nivel de RF

F TX (Hz) 1,695,500.00
F RX (Hz) 1,745,500.00
Po (dB) +29.0
Tipo de modulación: BPSK
Impedancia de salida 50 Ω (desde el conector de antena)

Característica a nivel de Banda Base

Data rate: 2,048 Kbps (E1, 3E1, etc)
Código de línea: HDB3 (HDB3, AMI, etc)
Impedancia: (75 ohms, 120 ohms)
bal unbal

Tensión de alimentación: -48VDC

Multiplexor:

Marca: ERICSSON No. Serie: MB-2543
Modelo: MYT-25

Data rate: 2,048 Kbps (E1, 3E1, etc)
Código de línea: HDB3 (HDB3, AMI, etc)
Impedancia: 120 Ω (75 ohms, 120 ohms)
bal unbal

Cantidad de circuitos:

2W
4W E&M
datos síncronos
datos asíncronos
64K codireccional
64K contradireccional
RDSI
télex
otros

10
20
-
-
-
-
-
-
-
-

tipo: _____

Tensión de alimentación:

-48VDC

Cargador de baterías:

Marca: GNB
Modelo: GN-48/50-1

No. Serie: 01-006049-4
Tipo: A-4

Voltaje de entrada: 120 VAC
Voltaje de salida: +48VDC
Corriente nominal de salida: 50A

Banco de baterías:

Marca: GNB
Modelo: Absolute II - 48/50

No. Serie: 2-38750-5
Tipo: _____

Voltaje: 48V
Capacidad nominal: 800 (amperios-hora)
Regimen de descarga: 8 (horas)

Línea de transmisión:

Tipo: Coaxial heliax (coaxial, guía de ondas)
Longitud: 30 mts
Dimensiones transversales: 1 5/8" ϕ

Antena:

Tipo: parabólica (yagi, parabólica, omni, sectorial)
Marca: ANDREW
Modelo: MX-25/2
Dimensiones: 3 mts ϕ
Ganancia: 31.0 (dB)

hoja No: 2 de 5

Mediciones

Fecha: 5/2/97

Nombre del técnico encargado: Juan Manuel López

Nombre del asistente: Jose Martinez

Etapa de radio:

Radio regular

Po: +28 dB
F (TX): 1675.502 Hz
F (TX) XTAL: 105968.7 Hz

F (RX): 1743,500 Hz
F (RX) XTAL: 108968.9 Hz

nivel de AGC: 2.35

IF frec: 69.998 Hz
nivel de IF: 4.2 Vpp

Radio de respaldo

Po: -
F (TX): -
F (TX) XTAL: -

F (RX): -
F (RX) XTAL: -

nivel de AGC: -

IF frec: -
nivel de IF: -

Señal digital:

fb (Tx): 2.047.98 KHz Vp-p (Tx) 2.38
fb (Rx): 2.048.01 Kbps Vp-p (Rx) 2.40

f clock: 1024 KHz

BER: 1.4×10^{-6}

Fuente de tensión:

Voltaje del banco de baterías: 48.7 V

Vtp1 (+48V): +48.7
Vtp2 (+12V): +11.92
Vtp3 (+5V): +4.89
Vtp4 (-5V): -5.01

Observaciones: No está instalado el radio de respaldo

Pruebas

Loop local a nivel de multiplexor

Resultados de la prueba:

Sólo hay multiplex de primer orden
se hizo el loop, se insertó una señal de
prueba en el TX del canal 15 y se recibió
en el RX del mismo canal.
Los resultados fueron satisfactorios

Loop local a nivel de RF

aplica no aplica

Resultados de la prueba:

El radio no está configurado para loop
de RF por lo que fue necesario reconfigurarlo.

La prueba no se pudo realizar

Loop remoto a nivel de canal de audio (prueba de calidad de transmisión)

Canal No.

Resultados de la prueba:

Se introdujo una señal de 0 dB en la
parte del RX y se recibió una señal
con -2dB de nivel. El tono de prueba
tiene una frecuencia de 1000 Hz

Observaciones:

Se cambió el silicagel del deshidratador
pues ya había perdido su color original
debido a filtraciones de humedad en el
cable.

CONCLUSIONES

1. Los recursos que han de destinarse para las tareas de mantenimiento correctivo (reparativo) generalmente son mayores a aquellos que se destinarían para las tareas de mantenimiento preventivo periódico de un sistema. Por recursos ha de entenderse el tiempo, el recurso humano, recurso material (módulos y partes defectuosas que han de ser sustituidas por nuevas); entre otros. Por esta razón resulta ventajoso, desde todo punto de vista, implementar un programa de mantenimiento preventivo periódico.
2. La vida útil de un equipo, y, en general, de un sistema se prolonga si se implementa un programa de mantenimiento preventivo periódico bien estructurado.
3. En los sistemas de comunicación digitales, el parámetro principal que permite determinar la calidad de la transmisión es el BER (Bit Error Ratio), ya que este es un indicativo de la cantidad de bits recibidos con error respecto a la cantidad de bits recibidos sin error.

4. Los sistemas de comunicación del tipo punto-punto se emplean generalmente en aplicaciones en las cuales se requiere concentrar gran cantidad de circuitos en un punto específico de la red; es decir, que los usuarios se encuentran concentrados alrededor del mismo punto. Los sistemas punto-multipunto se emplean cuando los usuarios se encuentran dispersos en una zona geográfica amplia, por lo que se hace necesario instalar varias estaciones terminales las cuales han de comunicarse con una estación central común.

5. El sistema de comunicación tipo punto-punto ha llegado a su límite de crecimiento para poder cubrir las necesidades de comunicación del INDE. Por esta razón se hace necesaria la implementación a corto plazo del sistema tipo punto-multipunto.

RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo con periodicidad de al menos una vez cada seis meses en todos los equipos que integran la red de comunicaciones. Se sugiere implementar las pruebas que se presentan en el capítulo 5 de esta tesis.
2. Implementar una base de datos en la cual pueda almacenarse históricamente las distintas lecturas obtenidas durante el mantenimiento preventivo de los equipos. Ésto con el fin de poder observar la forma en la que se comporta el sistema respecto al tiempo y así prever el comportamiento futuro del mismo. Ésto permite detectar fallas en los equipos antes de que éstas sean críticas.
3. Contar como mínimo con el siguiente equipo de medición especializado: un medidor de potencia que permita medir potencia directa y potencia reflejada (se sugiere el fabricado por Telewave), un analizador de espectro que opere alrededor de la banda de 1.8 GHz (se recomienda el HP 8594E), un juego completo de

atenuadores, de preferencia atenuadores variables, y un juego de herramientas especializadas. Pudiera contarse con un equipo "todo en uno" que permite realizar casi todas las mediciones necesarias en un sistema de radio digital. (se sugiere el Anritsu ME453).

4. Llevar a cabo, a corto plazo, la implementación del sistema de comunicación tipo punto-multipunto para desarrollar la nueva infraestructura de telecomunicaciones del INDE.

BIBLIOGRAFÍA

1. **APUNTES de curso SR500-s.** 2da. edición. Canadá: Departamento de publicaciones SR Telecom Inc., 1997.
2. CEPEDA Bernés, Ignacio. **PCM básico.** s.e. México: Wandel & Goltermann, s.a.
3. CEPEDA Bernés, Ignacio. **PCM de orden superior.** s.e. México: Wandel & Goltermann, s.a.
4. CEPEDA Bernés, Ignacio. **Tecnología de medición para transmisión de datos en líneas analógicas.** s.e. México: Wandel & Goltermann, s.a.
5. **MANUAL de utilización SR500-s.** s.e., volúmenes 1 y 2. Canadá: Departamento de publicaciones SR Telecom Inc., s.a..
6. **MANUAL técnico de interconexión eléctrica INDE-CEL.** s.e., volúmenes 3 y 5. Noruega: A/S EB-NERA Division, s.a.
7. **SISTEMA de radio digital PCM.** s.e. Japón: Nippon Electric Co. Ltd., 1,989.
8. TAUB, Herbert y Donald Schilling. **Principles of communications systems.** 2da. edición. E.E.U.U.: Editorial McGraw Hill, 1,986.

9. **TECHNICAL manual for PCM radio link equipment NL101AB (1.9 - 2.3 GHz, 1 + 1 system).** s.e. Noruega: A/S EB-NERA Division, s.a.
10. **TECHNICAL manual for PCM radio link equipment NL111B3B-01 (1.9 - 2.3 GHz, 1 + 1 system) & NL143F3CB2-01/02 (1.9 - 2.3 GHz, 1 + 1 system).** s.e. Noruega: A/S EB-NERA División, s.a.
11. **TECHNICAL manual for digital equipment, E&M signaling equipment ZAK-01.** s.e. Suecia: Telefonaktiebolaget LM Ericsson, s.a.
12. **TECHNICAL manual for digital transmission equipment, first-order digital multiplex ZAK 1/30-4; second-order digital multiplex ZAK 30/120-3; third-order digital multiplex ZAK 120/480-1.** s.e. Suecia: Telefonaktiebolaget LM Ericsson, s.a.
13. TOMASI, Wayne. **Sistemas de comunicaciones electrónicas.** 2da. edición. México: Prentice Hall, 1,996.

Apéndice A: Normas internacionales relacionadas con la medición de BER

Las características y disponibilidad de los sistemas de radio de microonda digital se especifican en las recomendaciones No. 594 y 557 de la CCIR. Para poder determinar si un sistema de radio cumple con tales recomendaciones es necesario realizar mediciones de BER.

A continuación se resumen las recomendaciones 594 y 557 de la CCIR.

Recomendación No. 594 de la CCIR

El BER para una trayectoria digital hipotética de referencia de 64 kbit/s no ha de exceder los valores provisionales siguientes:

Artículo 3.1 1×10^{-6} por más de 0.4% de algún mes
(tiempo de integración: 1 minuto)

Artículo 3.2 1×10^{-3} por más de 0.054% de algún mes
(tiempo de integración: 1 segundo)

Artículo 4. Total de segundos errados (ES): 0.32% de algún mes.

Las especificaciones anteriores no incluyen el siguiente tiempo de duración:

- La duración cuando el BER excede $1 \times 10E-3$ (para el artículo 3.1).
- La duración cuando el BER sin señal o $1 \times 10E-3$ continúa por más de 10 segundos (para el artículo 3.2).

Estos tiempos excluidos son considerados como la especificación de "disponibilidad" CCIR No. 557. Esta se describe a continuación.

Recomendación No. 557 de la CCIR

La disponibilidad apropiada para una trayectoria digital hipotética de referencia de 2,500 km para sistemas de radio digital (Rec. 556) ha de ser 99.7% del tiempo.

El concepto de indisponibilidad de una trayectoria digital hipotética de referencia ha de ser como sigue: al menos en una dirección de transmisión, una o ambas de las dos condiciones siguientes ocurre por al menos 10 segundos consecutivos.

1. La señal digital es interrumpida (es decir, se pierde el alineamiento o la temporización);
2. la tasa de error es mayor a $10E-3$.