



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN.**

**ENLACE VÍA MICROONDAS ENTRE DOS PUNTOS: FUNCIONAMIENTO Y
COMPARATIVA CONTRA LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN VÍA CABLE.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.

P R E S E N T A:

CARLOS ALBERTO FLORES RODRÍGUEZ

ASESOR: ING. FERNANDO PATLÁN CARDOSO.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS.

A mi familia a quien debo mi educación y el hacerme madurar. Joaquín Flores Carro, María del Carmen Rodríguez Mejía, Erika del Carmen y Miriam Aline.

A mis profesores que tuve toda la vida, sin ustedes no tendría la educación y el conocimiento que tengo hoy.

A mi amor platónico.

A todos mis amigos y amigas que menciono a continuación, no hay un orden de importancia así que se pongan celosos ni celosas:

Amigos: Fausto Lara Álvarez, Oscar Ángel Rojas, Erick González González, César Omar Reyes Jiménez, Omar León Reina, Marco Antonio Ávila Vega, Hiram Ramírez Ruiz, Eric Cruz Martínez, Rodrigo Madrid Soria, Alfredo Marín Marín, Guillermo Jiménez Martínez, Julio César Franco Mejía, Raúl Adames Rojas, Eduardo Ramírez Pablo, Néstor Hernández García, Adán Guerra Villa, Juan Pablo Escalona Montaña, Armando Ramírez Aldape, Ricardo Luna Lepe, Edgar Ramos Sánchez José Martín Baltazar Zavala, Antonio Vargas Garza, Isaías Cortes Salazar, Jesús Fredy Escobedo Martínez, David Roa, Mario Alberto Vergara Alcalá, Miguel Ángel Cervantes Munive, Arturo Pichardo, Víctor Rangel Corona, Alfredo Bocanegra Velásquez,, Luis Alejandro Espinosa Martínez, Alejandro Huerta Pérez, Raymundo Mendoza Cedillo, Ángel Daniel Díaz Saldivar, Hugo García, Jonás Núñez, Ing. Jorge Saavedra (BATMAN), Gabriel, Roy, Javier, Paquito, Marcote, Kracker, Toñito, Abuelo, Che che, Gustavo, Checo, Padua, Crilin, David, Fedé, Flavio, Chema, Martín, Jorge, Aldo, Chorch, a los goku's.

Amigas: Silvia Saavedra Carrillo, Sarahí Ramos Bejar, Raquel Ramos Bejar, Ericka Enríquez Martínez, Onelí Judith Acosta Mondragón, Nancy Castañeda Fuentes, Carmen Paulina Basurto Mancera, Patricia Castro Morales, Nancy Cruz Peña, Léryda Xiomara Moreno Matus, Laura Edith, Ivonne Karina, Paulina Alexandra, Mónica, Ana Laura, Isabel, Lucy, Sandra Ivonne, Paty de la UVM, Isabel Campuzano, Ana Beatriz, Myriam Yarishbe, Lilitiana, Adriana Mote, Adriana, Carmen, Berenice, Aidé, Carolina, Elianne, Elizabeth Asunción, Elizabeth Jaramillo, Alejandra Martínez, Hibeke, Norma Leticia, Diana Martha, Diana, Laura, Luz Cecilia, Norma Letza, Sandra Magali, Sandra, Maggie, Anaid, Minerva, Verónica, Karla Elena, Karla Vannesa, Norma, Guadalupe, Rosario, Elba, mi prima Argelia Citlalli, Alba, Claudia Araceli, Leonor, Gabriela, Graciela, Maribel, Marcela, Yazmín, Cristina, Elvira, Mirel Carolina, Odet, Astrid, Fernanda, Karla, Liz, Susana, Brenda, Ariadna, Mariana, Sonia, Claudia Yelineth, Ana Lilia, Lorena, Citlalli, Vanesa, Myriam, Elena, Marilu, Lulú, Itzel, Jenny Nayeli, Irina, Gema, Mirna Gabriela, Marlene.

Ya que siempre estuvieron conmigo cuando más lo necesite, siempre están ahí y me enseñaron muchas cosas para crecer como persona y ser humano.

GRACIAS A TODOS USTEDES

A mi asesor de tesis Ing. Frenando Patlán Cardoso quien me guió en el proceso de titulación

Al Honorable Jurado.

ÍNDICE

Índice	4
Objetivos generales.	7
Hipótesis.	7
Introducción	8
Capítulo 1	10
1. Introducción	11
1.1 Evolución de los sistemas de comunicaciones	19
1.2 Estructura general de un sistema de comunicaciones	22
Capítulo 2	30
2. Equipo de un sistema de comunicaciones vía microonda	31
2.1 Sistemas analógicos	37
2.2 Sistemas digitales	43
2.3 Antenas	47
Capítulo 3	64
3. Planeación del sistema y frecuencias de operación	65
3.1 Aspectos generales	65
3.2 Interferencia y tipos de interferencia	68
3.3 Ubicación del equipo para evitar interferencias	71
3.4 Asignación de las frecuencias de transmisión	73

Capítulo 4	77
4. Trayectoria y cálculos del enlace	78
4.1 Ubicación de los sitios de transmisión y recepción	78
4.2 Cálculo de la altura de las torres de transmisión para una trayectoria libre	81
4.3 Ruido.	86
4.3.1 Fuentes de ruido	86
4.3.2 El ruido de intermodulación y el ruido térmico	87
4.3.3 Cálculo del ruido	88
4.3.4 Umbral de recepción	91
4.3.5 Figura de ruido en el sistema	92
4.4 Desvanecimientos	93
4.4.1 Margen de desvanecimientos	94
4.4.2 Confiabilidad y técnicas de diversidad	94
4.5 Características de la etapa de demodulación	98
4.6 Pérdidas en la transmisión	102
Capítulo 5	105
5. Comparativa de un sistema de comunicaciones vía microondas contra sistemas de comunicaciones vía cable	106
5.1 Sistemas de supervisión y mantenimiento	106
5.2 Técnicas de protección y equipos de reserva	110
5.3 Costos de transmisión y recepción. Comparativa contra sistemas de comunicación alámbricos	115

5.4	Ventajas y desventajas que presentan los sistemas de transmisión vía microondas con respecto a los sistemas de transmisión vía cable	121
	Conclusiones	130
	Apéndice	131
	Glosario	132
	Bibliografía	141

OBJETIVOS GENERALES.

- Describir como está compuesto un sistema de comunicaciones vía microondas.
- Conocer los aspectos que son fundamentales para establecer un sistema de comunicaciones vía microondas.
- Realizar una comparativa en cuanto a viabilidad y costos de un sistema de comunicaciones vía microondas contra sistemas de comunicaciones vía cable como lo son la fibra óptica y el cable coaxial.

HIPÓTESIS.

Mostrar que las comunicaciones por medio de un enlace vía microondas cuando se realizan a grandes distancias son una mejor opción que las comunicaciones vía cable para distancias muy grandes.

INTRODUCCIÓN.

Un sistema de telecomunicaciones consiste en una infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hasta el destino. Con base en esa infraestructura se ofrecen a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones.

Las primeras redes de telecomunicación empleaban conductores de hierro siendo sustituidos por hilos de cobre, soportados por líneas de postes, como medios de transmisión, en la actualidad se han desplazado a los cables y se utilizan medios inalámbricos como los son las microondas que forman partes del espectro electromagnético.

El espectro electromagnético está formado por ondas (ondas electromagnéticas) que se producen en la naturaleza y que efectúan diferente número de ciclos por segundo (frecuencias).

El espectro electromagnético incluye ondas emitidas al hablar y la electricidad. Una parte del espectro electromagnético es el espectro radioeléctrico que es el espacio que permite la propagación sin guía artificial de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias están debajo de los 3,000 Gigahertz.

Dependiendo de las características de las frecuencias, se realiza convencionalmente un fraccionamiento del espectro electromagnético al que se le denomina bandas de frecuencias en las que las características de éstas permiten que se presten determinados servicios. Algunas de las características de las frecuencias pueden ser entre otras, si las ondas pueden atravesar muros, como las frecuencias del radio frecuencia modulada (FM), o las frecuencias utilizadas para la telefonía celular.

A continuación se menciona el contenido del presente trabajo para su mejor comprensión.

El primer capítulo consta de una introducción acerca de los sistemas de comunicaciones así como de su estructura.

En el capítulo dos se hace una explicación sobre los sistemas de comunicaciones vía microondas, además de los equipos analógicos y equipos digitales; y las antenas que son utilizadas para establecer enlaces punto a punto por medio de microondas.

Los capítulos tres y cuatro están enfocados a las características de los enlaces vía microondas como lo son: la planeación del sistema, sus frecuencias de operación, interferencias, ubicación de los equipos, trayectoria, altura de las torres de transmisión, antenas, fuentes de ruido, desvanecimientos técnicas de diversidad y asignación de frecuencias para elaborar un enlace vía microondas punto a punto.

El quinto capítulo hace mención del mantenimiento preventivo y correctivo de un sistema de comunicaciones vía microondas así de las técnicas de protección del sistema. También se incluye un análisis de los costos de equipos para transmisión vía microondas contra los equipos de transmisión vía cable; se realiza una comparativa contra los sistemas de comunicación vía cable de fibra óptica y vía cable coaxial como medios de transmisión en enlaces punto a punto de grandes distancias.

Finalmente a este trabajo se anexa un apéndice que contiene una ilustración del espectro electromagnético y un glosario de términos que son utilizados con frecuencia dentro del área de las telecomunicaciones.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN A LAS RADIOCOMUNICACIONES.

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

Podemos decir que la técnica de radiocomunicación consiste en superponer la información que se desea transmitir a una onda electromagnética que es propagada en el espacio. La onda portadora y la información que se desea difundir se producen en el transmisor; la información se extrae de la onda en el receptor que recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida. Junto a estos elementos básicos se requieren elementos de acoplamiento entre los equipos y el medio de propagación, que son: la antena transmisora y la antena receptora. Los elementos de transmisión, recepción y las antenas contribuyen a la comunicación.

El medio de transmisión (el aire) es un elemento negativo, ya que producirá pérdidas; el ruido e interferencias son factores que limitan la calidad de la señal; además existe un límite para la amplificación ya que este proceso afecta tanto a la señal deseada como a las no deseadas. La potencia disponible a la entrada del receptor de la señal deseada y del ruido e interferencias establecen un límite por debajo del cual el nivel de la señal deseada no puede reducirse sin el riesgo de no poder extraer la información útil. Por tanto, para cada servicio y clase de emisión debe fijarse un valor mínimo de la señal que debe de estar disponible a la entrada del receptor, y de ello se deduce que debe de existir una relación mínima entre la señal útil y el ruido o la interferencia.

La potencia de la señal útil y la potencia del ruido o de la interferencia en el receptor son parámetros que dependen de numerosos factores, los cuales varían en función de la frecuencia, anchura de banda, localidad de recepción, horas del día, estaciones del año, etc. El conocimiento de estas variaciones permite fijar estadísticamente los valores de la relación mínima requerida entre la señal útil y el ruido o interferencia para obtener comunicaciones satisfactorias. En radiocomunicaciones intervienen procesos tales que pueden caracterizar de forma singular a la radiocomunicación, que se pueden dividir en tres subsistemas: *emisión, propagación de las señales radioeléctricas y recepción.*

EMISIÓN O TRANSMISIÓN.

La emisión de las señales radioeléctricas se define por los siguientes parámetros.

a) Tipos de emisión.

El tipo de emisión esta determinado por las propiedades y características propias de la señal electromagnética radiada, como es el tipo de modulación, la portadora, la frecuencia utilizada, etc. Del tipo de modulación depende el ancho de banda ocupada de la señal; en modulación de banda lateral única, por ejemplo, el ancho de banda utilizado es la mitad que en una transmisión en doble banda lateral; una modulación FM amplía a su vez el ancho de banda utilizado.

b) Ancho de banda necesario y ancho de banda ocupado.

El aspecto de una señal electromagnética es simplemente la representación de la energía que transporta la señal. De ésta la mayoría corresponde a la información que lleva la señal. Para poder reconstruir la señal en el receptor debe ser posible recuperar un porcentaje elevado de todo el espectro para demodular la señal y se denomina “ancho de banda necesario”.

Durante el proceso de transmisión debe contarse con la disponibilidad de una banda reservada para la señal, debiendo de existir un margen de frecuencias de guarda entre otras posibles emisiones que utilicen frecuencias cercanas a la que estemos utilizando para transmitir. Teniendo en cuenta estas consideraciones se define el ancho de banda ocupado al margen de frecuencias en las que el emisor emite algún tipo de radiación no esencial fuera de la banda necesaria. El nivel de estas radiaciones no esenciales no debe superar los límites regulados por la UIT-R (*Unión Internacional de Telecomunicaciones – Radioenfances*), de forma que no interfieran a los canales adyacentes.

c) Variaciones en la frecuencia de transmisión.

Cuando se desea establecer un servicio de radiocomunicación conforme a los reglamentos existentes, se asigna un valor de la frecuencia portadora y el ancho de banda que se va a utilizar. La tolerancia de la frecuencia de transmisión define la desviación máxima de frecuencia admisible en torno a la frecuencia asignada.

d) *Emisiones no deseadas.*

Debido a las imperfecciones de los equipos de transmisión, se producen radiaciones parásitas en frecuencias fuera del margen de ancho de banda ocupado. Las emisiones no deseadas se pueden dividir en emisiones esenciales y emisiones fuera de banda. Las emisiones no esenciales son aquellas que se producen en frecuencias cercanas al ancho de banda asignado a la emisión que corresponde a información no esencial de la señal moduladora. Estas emisiones se pueden eliminar mediante filtrado y se pueden suprimir afectando la calidad de la información transmitida dentro de un margen tolerable. Las emisiones fuera de banda son ocasionadas por imperfecciones en los equipos de modulación. Se generan armónicas y productos de intermodulación que puedan afectar a otros canales adyacentes.

e) *Potencia de transmisión.*

La potencia transmitida depende de la clase de emisión y del alcance de la misma. Se definen varias potencias:

- *Potencia media de la onda modulada (P_m):* se define la potencia media de una onda radioeléctrica como el valor medio de la potencia medida en un periodo de tiempo determinado. Este periodo de tiempo debe ser comparado a varios ciclos de la señal moduladora.
- *Potencia de portadora (P_c):* se define potencia de portadora al valor medio de la portadora sin aplicarle ningún tipo de modulación. El tiempo de medición de la potencia de la portadora debe ser comparable a la duración de varios ciclos de la portadora.
- *Potencia de cresta de la envolvente (P_x):* se define como la potencia de la señal transmitida (portadora + moduladora) tomada durante un ciclo de la señal, teniendo en cuenta el valor máximo o de cresta de la envolvente.

f) *Tipo de polarización.*

La polarización de una onda indica el sentido de orientación del campo electromagnético en su propagación. La polarización se utiliza para mejorar las condiciones de propagación en algunos casos, o para añadir un trayecto más de propagación donde insertar una portadora. Los tipos de polarización pueden ser:

- *Polarización horizontal:* el vector que define el campo eléctrico se encuentra orientado horizontalmente. Las variaciones sinusoidales de la señal determinada por el campo eléctrico, oscilan en un plano horizontal.
- *Polarización vertical:* el vector que define al campo eléctrico se encuentra orientado verticalmente. Las variaciones sinusoidales de la señal determinada por el campo eléctrico, oscilan en un plano vertical.
- *Polarización oblicua:* el vector del campo eléctrico se encuentra en diagonal a la dirección de propagación. El ángulo que forma normalmente es de 45° respecto de la normal. Esta polarización se consigue combinando los dos tipos de polarizaciones anteriores.
- *Polarización circular:* el vector que describe al campo eléctrico gira según la dirección de propagación. Este tipo de polarización se consigue combinando componentes de polarización horizontal y vertical sumados en cuadratura.

La polarización es un recurso muy utilizado en radiocomunicaciones porque dependiendo del tipo de polarización utilizada sus condiciones de propagación varían. Las polarizaciones vertical y horizontal se consiguen con una determinada orientación de la antena. Por ejemplo: una antena en posición vertical radiará una onda polarizada verticalmente. Para las polarizaciones circular y oblicua se disponen las antenas en forma de cruz y mediante combinaciones de las señales radiadas por ambas se puede conseguir que la onda presente una u otra polarización. Si una antena transmite con una polarización determinada, la antena receptora debe encontrarse con la orientación adecuada para poder extraer la potencia de la onda incidente, esto quiere decir que, por ejemplo, la antena lineal receptora debe encontrarse orientada en forma vertical para poder absorber la potencia radiada.

En aplicaciones como la telefonía móvil, donde la antena puede encontrarse en cualquier posición se emite la señal con una polarización vertical. De esta forma el receptor siempre podrá captar la señal, aunque cabe mencionar que, en la recepción se tienen pérdidas de hasta 3dB debido a que la antena receptora es lineal.

Para identificar y clasificar las emisiones se utiliza una nomenclatura particular que identifica el ancho de banda, la modulación y otras propiedades de la onda. El ancho de banda ocupado por la emisión se identifica con unas letras. Según la cantidad del ancho de banda, las emisiones se dividen en cuatro categorías que son las siguientes:

- ❖ Entre 0.001 y 999 Hz se denota por la letra H.
- ❖ Entre 1.00 y 999 Hz se denota por la letra K.
- ❖ Entre 1.00 y 999 KHz., se denota por la letra M.
- ❖ Entre 1.00 y 999 MHz se denota por la letra G.

La denominación ha de tener siempre cuatro caracteres. A continuación en la tabla (1.1) se mencionan algunos ejemplos de esta nomenclatura:

ANCHO DE BANDA	IDENTIFICACIÓN
400 Hz	400H
3.9 KHz.	3K90
2.55Mhz.	2M55
100 MHz.	100M

Tabla 1.1 Ejemplo del uso de la nomenclatura para identificar el ancho de banda de la onda.

La clase de emisión utiliza otros caracteres. Estos caracteres identifican la modulación, el tipo de señal moduladora, el tipo de información transmitida, el tipo de señal modulada y la multiplexación utilizada. Los símbolos utilizados se muestran en las tablas (1.2), (1.3), (1.4), (1.5) y (1.6).

Tipo de modulación.	Símbolo.
Ninguna (onda continua).	N
AM o dB.	A
BLU (banda lateral única).	H
BLR (banda lateral residual).	C
FM.	F

Tabla 1.2 Caracteres utilizados para identificar el tipo de modulación.

Tipo de señal moduladora.	Símbolo.
Ninguna.	0
1 canal digital.	1
1 canal analógico.	3
2 canales múltiplex.	8

Tabla 1.3 Caracteres utilizados para identificar el tipo de señal moduladora.

Tipo de información transmitida.	Símbolo.
Ninguna.	N
Datos.	D
Voz.	E
Video.	F

Tabla 1.4 Caracteres que se utilizan para identificar el tipo de información transmitida.

Tipo de señal modulada.	Símbolo.
Sonido de calidad comercial.	J
Sonido radiodifusión mono.	G
Sonido radiodifusión estereo	H
Video.	N

Tabla 1.5 Caracteres que se utilizan para identificar el tipo de señal modulada.

Multiplexación.	Símbolo.
Ninguna.	N
Frecuencia (FDM).	F
Tiempo (TDM).	T

Tabla 1.6 Caracteres que se utilizan para indicar el tipo de multiplexación utilizada.

PROPAGACIÓN.

Las propiedades que presenta la propagación radioeléctrica cambian con la frecuencia, el tipo de suelo y las condiciones ambientales. La frecuencia determina el trayecto que la onda tomará en su propagación en el espacio. Existen varios tipos o modos de propagación posibles según la frecuencia utilizada que son los siguientes:

- Para frecuencias bajas menores a 3 MHz, la señal radioeléctrica se propaga por onda de superficie. La señal se transporta por medio del suelo. Dependiendo del tipo de suelo las condiciones de propagación podrán variar.
- Para frecuencias entre 3 y 30 MHz, la transmisión puede ayudarse de las reflexiones que se producen en la ionósfera. Este tipo de propagación se denomina por *onda ionosférica*. Este tipo de emisiones permiten grandes alcances, pero es muy inestable. Las condiciones de propagación depende de los ciclos solares y de las condiciones atmosféricas.
- Para frecuencias superiores a 30 MHz, se puede realizar la transmisión por vista directa, denominándose *onda espacial*. La onda se propaga por las capas bajas de la atmósfera (tropósfera). En la utilización de este tipo de propagación aparecen otros fenómenos que en los modelos anteriores son despreciables, por ejemplo, el trayecto de la onda radioeléctrica puede encontrar obstáculos que reflejen parte de la señal, estos componentes reflejados llegan al receptor junto con la onda directa, provocando distorsiones y desvanecimientos.

RECEPCIÓN.

Para la recepción es necesario recuperar la información que transporta la onda radioeléctrica ya que en su camino durante la propagación se ha visto afectada por el entorno que ha degradado a la señal y principalmente la ha atenuado. La atenuación de una señal es un fenómeno inherente a la propagación radioeléctrica. Cuando una fuente emite radiación la potencia se reparte en todas las direcciones del espacio. Esto es semejante al efecto que produce una piedra al caer en un estanque de agua. A medida que aumenta la distancia del receptor la atenuación disminuye según el cuadrado de la distancia suponiendo condiciones ideales para la propagación sin obstáculos ni otros elementos adicionales de atenuación.

En el receptor debemos tener un nivel mínimo de señal que permita recuperar la información. Este nivel se puede medir en términos de campo eléctrico o en potencia recibida; para antenas lineales se suele utilizar el valor del campo eléctrico. Las unidades utilizadas, debido a los bajos niveles de señal que suelen llegar a la antena receptora, se expresan en $\mu\text{V/m}$ (*micro-Volts por metro*). Existen dos parámetros que expresan el valor mínimo del campo que el receptor o el tipo de emisión requiere:

- *Campo mínimo utilizable*: es el nivel del campo eléctrico mínimo que necesita el receptor para extraer la información. Este campo se define en condiciones ideales de propagación y sin la presencia de fenómenos de interferencias, ruido, etc. Por lo tanto, expresa los límites tecnológicos del equipo receptor.
- *Campo utilizable*: es el nivel efectivo de campo eléctrico necesario para que, en presencia de cualquier fenómeno perturbador, se pueda extraer la información. Este valor ha de calcularse teniendo en cuenta los efectos de interferencias, ruido, reflexiones, etc. Por debajo de este valor la degradación de la señal es tal que no se puede recuperar.

Las interferencias no deseadas que entran dentro de la banda de trabajo y atraviesan la cadena de demodulación del receptor degradan la señal deseada por lo que en diversos entornos se deben tener en cuenta, por ejemplo, los entornos industriales, emisoras cercanas de frecuencias, etc. En el estudio de interferencias no solamente debemos tenerlas en cuenta desde el punto de vista de cómo puedan afectar a nuestro sistema de transmisión, sino que debemos de asegurarnos que nuestras emisiones no afecten a otras transmisiones externas. Cuando se diseña un sistema de transmisión por radio, teniendo en cuenta el efecto de las interferencias, debemos establecer un parámetro denominado *relación de protección*, esta relación define la diferencia en campo eléctrico o potencia que han de tener las emisiones interferentes y la emisión deseada en el receptor.

Podemos concluir que el objetivo fundamental de un sistema de comunicaciones es el de transmitir información de un lugar a otro, en donde intervienen los procesos de transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares mediante circuitos electrónicos. La fuente original de información puede estar en forma *analógica* (continua) como la voz humana, o en forma *digital* (discreta) como los números codificados en forma binaria. El presente trabajo muestra el funcionamiento de un enlace vía microondas y realiza una comparativa contra los sistemas de transmisión vía cable demostrando que un enlace vía microondas es más económico que estos sistemas para enlaces a grandes distancias.

1.1 EVOLUCIÓN EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES.

El objetivo fundamental de un sistema de comunicaciones es el de transferir información de un lugar a otro. De alguna manera podemos intuir que las comunicaciones electrónicas son: la *transmisión, recepción y procesamiento* de información entre dos o más lugares. La fuente original de información puede estar en forma analógica (en forma continua), como por ejemplo la voz humana o la música, o en forma digital (en forma discreta), como por ejemplo los números codificados en forma binaria o los códigos alfanuméricos. Sin embargo, todas las formas de información se deben convertir a *energía electromagnética o espectro radioeléctrico* antes de ser propagadas a través de un sistema de comunicaciones.

Para poder hablar de lo que es el *espectro radioeléctrico*, debemos comprender de donde proviene este concepto, lo que nos lleva a remontarnos al pasado y darnos cuenta que la información siempre ha sido un elemento sumamente esencial para el ser humano, por lo que en su constante búsqueda de medios más efectivos y a menor costo para obtenerla, ha desarrollado desde hace años dispositivos y teorías para ello. La información es algo coleccionable, almacenable y reproducible; es un valioso instrumento que se utiliza para tomar decisiones, y conduce también a conclusiones acertadas o equivocadas, puesto que puede ser interpretada de distintas maneras por diversos individuos, dependiendo de muchos factores subjetivos y del contexto en el que se encuentre la persona que la recibe e interpreta, así como la finalidad para la que esta sea requerida.

La mayor influencia sobre las comunicaciones la tuvo la Segunda Guerra Mundial, ya que en esa época la humanidad ya se encontraba en un franco desarrollo tecnológico, y muchos de los acontecimientos que influyeron en la conclusión de dicha lucha armada, se debieron al adecuado manejo de la información, la obtención oportuna de la del enemigo, o su clasificación y utilización en el momento adecuado.

Uno de los aspectos más abstractos e importantes de la información es que su valor puede disminuir a lo largo del tiempo. Esta se origina en una fuente y se hace llegar a su destinatario mediante un canal de comunicación ya que este generalmente se encuentra en una zona geográfica distante, o por lo menos separado del origen.

Este es el problema fundamental de las Telecomunicaciones ya que al haber una fuente central que genera la información en un punto, y un destinatario en otro sitio geográfico distante del primero, se trata de hacer llegar al destinatario la información generada por éste, de manera rápida (por la dependencia temporal de la importancia de la información), segura (para garantizar la confidencialidad de la misma), y sumamente veraz, garantizando el contenido de la misma principalmente en nuestros días, por la globalización económica.

A continuación se presentará el cuadro 1.1 que indica algunos de los eventos más importantes en la historia de las comunicaciones:

Fecha	Nombre	Evento
Principios del siglo XIX	William Gilbert.	Estudió el magnetismo, elaborando la teoría de la fuerza magnetomotriz.
Siglo XIX	Michael Faraday.	Demostró que el movimiento de un imán con relación a la bobina del cable separada de este último, produce una corriente eléctrica en el cable, lo que fundamentaba su idea de que los fenómenos eléctricos y magnéticos pueden estudiarse mejor si se consideran en términos de regiones o campos del espacio sobre los cuales se ejercían fuerzas.
Siglo XIX	André Marie Ampere, George Ohm y Charles Augustin de Coulomb.	Comenzaron a reconocer la relación que existía entre el magnetismo y la electricidad.
Siglo XIX	James Clerk Maxwell.	Desarrollo ecuaciones que vinculan los fenómenos eléctricos y magnéticos.
1887	Heinrich Hertz.	Creó las primeras ondas radioeléctricas hechas por el hombre mismas que eran radiadas a la velocidad de la luz.

Fecha	Nombre	Evento
1895	Wilhelm Roentgen.	Realizo experimentos de luminosidad con tubos de rayos catódicos; de manera accidental descubrió los rayos X.
1844	Samuel Morse.	Desarrolló la línea telegráfica.
1876	Alexander Graham Bell.	Patenta su invento el teléfono.
1894	Guglielmo Marconi.	Utilizó la antena para mejorar la transmisión y la recepción.
	Oliver Heaviside y A.E. Kennelly.	Demostraron que las ondas inalámbricas no se disparan al espacio, sino que se reflejan de un lado a otro entre la ionosfera y la superficie de la Tierra.
1920		Las estaciones de radio comenzaron a emitir señales de amplitud modulada (AM).
1933	Edwin Howard Armstrong.	Invento la modulación en frecuencia (FM).
1936		Comenzó la emisión comercial en FM.

Aunque los conceptos y principios fundamentales de las comunicaciones electrónicas han cambiado poco desde su introducción, los métodos y circuitos con que se realizan han sufrido grandes cambios. En los años recientes, los transistores y los circuitos integrados lineales han simplificado el diseño de los circuitos permitiendo así su miniaturización mejor eficiencia y confiabilidad y costos generales menores. En los años recientes ha habido una necesidad mayor de comunicación entre cada vez más personas. Esta urgente necesidad ha estimulado un crecimiento gigantesco de la industria de comunicaciones electrónicas como lo son por vía del cable metálico, microondas, la fibra óptica y los satélites espaciales.

1.2 ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES.

Un sistema de telecomunicaciones consiste en una infraestructura física a través de la cual se transporta información desde la fuente hasta el destino, y con base en ésta se ofrecen a los usuarios diversos servicios y sistemas en telecomunicaciones. Por lo anterior, en lo sucesivo se le denominará “*red de telecomunicaciones*” a la infraestructura encargada del transporte de la información.

Para recibir un servicio en materia de telecomunicaciones, el usuario utiliza un equipo terminal mediante el que obtiene entrada a la red por medio de un canal de acceso. Hay que puntualizar que cada red de telecomunicaciones tiene distintas características ya que puede utilizar distintas redes de transporte, y acorde con ésta será el equipo terminal que el usuario necesitará.

La principal razón por la que se han desarrollado las redes de telecomunicaciones es porque el costo de establecer un enlace entre dos usuarios de una red sería sumamente elevado si los diferentes usuarios no tuvieran su equipo terminal conectado a la misma red. Es mucho mejor el contar con una conexión dedicada para que cada usuario tenga acceso a la red mediante su equipo terminal, pero una vez dentro de la red los mensajes utilizan enlaces que son compartidos con otras comunicaciones de diversos usuarios de la misma red. En general una red de telecomunicaciones consta de los siguientes elementos:

- Un conjunto de nodos por el que se transmite la información,
- Un conjunto de enlaces o canales que conectan a los nodos entre sí y a través de los cuales se envía la información desde y hacia los nodos, y
- Desde el punto de vista de la conformación de las redes, estas pueden ser clasificadas como redes de telecomunicaciones conmutadas o de difusión.

NODOS.

Los nodos son parte fundamental de cualquier red de telecomunicaciones. Son los encargados de realizar las diversas funciones de procesamiento que requieren cada una de las señales o mensajes que circulan o transitan mediante los enlaces en una red.

Los nodos proporcionan enlaces físicos entre los diversos canales que conforman la red. Generalmente los nodos son equipos digitales, aunque pueden tener parte analógica como un modulador, y realizan las siguientes funciones:

- *Establecimiento y verificación de un protocolo* garantizando una comunicación exitosa utilizando los canales que los entrelazan.
- *Transmisión*. Los nodos se adaptan al canal, a la información o a los mensajes que contiene para su adecuada y efectiva transportación en la red.
- *Interfase*. El nodo se encarga de proporcionar al canal las señales que serán transmitidas de acuerdo con el medio del que está formado el canal, adecuando la salida a la manera de transmisión sin importar si ingresaron codificadas para otro tipo de sistema.
- *Recuperación*. Si en una transmisión no se completa el paso de la información, los nodos permiten recuperar lo transmitido y enviar de nuevo el total o el faltante de la información.
- *Formateo*. Se utiliza en el caso de que todas las terminales de una red no utilicen, el mismo formato. Los nodos permiten cambiar la información al formato requerido, o bien el reformatear la misma.
- *Enrutamiento*. Proporcionan la información del usuario de origen y del destino de la información. Esto debe de realizarse en cada nodo, ya que como se menciona, existen diversos nodos en una red.
- *Repetición*. Es una retransmisión acorde a los protocolos establecidos que se realiza mediante petición automática del nodo receptor al transmisor.
- *Direccionamiento*. Los nodos detectan direcciones para poder hacer llegar mensajes a su destino mediante un canal predeterminado.
- *Control de flujo*. Detecta la saturación de los canales de información.

El valor real de las telecomunicaciones consiste en la cantidad y calidad de servicios que se ofrecen por medio de las redes y que se ponen a disposición de los usuarios.

CANALES.

El canal es el medio físico mediante el que la información viaja de un punto a otro, y sus características son sumamente importantes para una comunicación efectiva, ya que de ellos depende la calidad de las señales recibidas, y de acuerdo al tipo de material del que se encuentre hecho el canal, serán los valores de transmisión se muestran en la tabla (1.7).

30 – 300 KHz. Cable de cobre (par trenzado)	Hasta 4 Mbps (4 millones de bits por segundo)
Cable coaxial	Hasta 500 Mbps (500 millones de bits por segundo)
Fibra óptica	Hasta 2000 Mbps (2000 millones de bits por segundo, o bien 2 “giga” bps: 2Gbps)

Tabla 1.7 Valores de transmisión de acuerdo al tipo de material con que se efectúa un radioenlace.

Los cables de cobre siguen siendo el medio más utilizado para la transmisión analógica como digital, ya que son la base de las redes telefónicas urbanas (con todo y la incursión de la fibra óptica). Pero la desventaja que presenta es que dependiendo de la señal, deben de ser colocados repetidores de la misma cada 5 o 6 kilómetros.

Los cables coaxiales tienen un aislante que separa al conductor central de ruido en la transmisión mediante un blindaje. Son muy utilizados en telecomunicaciones de larga distancia y en transmisiones de televisión, y de manera más reciente en la transmisión de datos; pero la distancia entre las repetidoras debe de ser la misma que en los cables de cobre, ya que se utiliza una mayor banda para la transmisión, lo que permite una mejor tasa en la comunicación digital.

La fibra óptica transmite señales ópticas en lugar de eléctricas. Es un material mucho más ligero que los anteriormente mencionados, y transmiten tasas más altas que los primeros. Además, aunque las señales se vean afectadas por ruido, no se alteran si es eléctrico, y soportan distancias mayores en las repetidoras –del orden de los 100 kilómetros. Se utiliza principalmente para enlaces de media distancia y redes locales. Por otra parte, también hay que hacer mención de los canales que difunden una señal sin la necesidad de una guía, como los de radio, las microondas y los enlaces satelitales.

Las microondas funcionan mediante antenas de transmisión y recepción de tipo parabólico para transmitir con haces estrechos y tener mayor concentración de energía radiada. Se utilizan en enlaces de larga distancia, desde luego con repetidoras, y para enlaces cortos punto a punto.

El principio de funcionamiento de un satélite es el siguiente: se envían señales de una antena de cualquier tipo a un satélite artificial estacionado en un punto fijo alrededor de la tierra (*satélite geoestacionario*) o de "*órbita móvil*". Los satélites tienen un reflector o *transpondedor* orientado hacia el lugar en donde se pretende hacer llegar la señal reflejada donde también se tienen antenas que reciben la señal de origen. A partir de su recepción la señal se procesa o retransmite y se hace llegar a su lugar de destino final.

Las ventajas de la comunicación por satélite son muy evidentes ya que se puede transmitir a larga distancia sin importar la orografía, hidrografía o clima imperante en ambos lugares (transmisión y recepción). Se pueden utilizar antenas de gran cobertura, de tal manera que pueden transmitir y recibir señales al mismo tiempo. Las tasas de transmisión pueden ser desde las más pequeñas hasta las más grandes.

Los requerimientos de acceso múltiple, manejo de diversos tipos de tráfico, establecimiento de redes, integridad de los datos y seguridad, se manejan mediante la tecnología VSAT (*Very Small Aperture Terminals*), que es una denominación de las comunicaciones por satélite que emplean terminales con una antena parabólica de dimensiones muy reducidas. Entre los servicios que puede ofrecer ésta tecnología se encuentran los siguientes: radiodifusión y servicios de distribución, bases de datos, información meteorológica, información bursátil, datos de telemetría, servicios interactivos bidireccionales (*teleconferencias con transmisión de datos*), etc.

Para entender mejor la operación de los sistemas basados en transmisiones vía satélite y su asociación con "*antenas parabólicas*", a continuación se presentará el principio en el que se basan este tipo de antenas. La geometría de una parábola es tal que una emisión que llega a la parábola paralela de un eje es reflejada pasando por su foco, y una emisión que sale de esta al incidir sobre su superficie parabólica es reflejada paralela a su eje.

Aplicando estas ideas a las telecomunicaciones se puede ver que si se orienta el eje de una antena parabólica hacia el satélite, las emisiones provenientes del mismo llegarán a la antena paralela a su eje, y aquellas transmisiones provenientes del foco de la parábola, seguirán una trayectoria paralela al eje de esta hasta llegar al satélite. Como consecuencia de lo anterior, al foco de la parábola debe de ser conectado un “colector” de energía que capte todo lo que proviene del satélite y que previamente fue reflejado por la parábola, y que será enviado a los circuitos de procesamiento.

Pero en el mismo punto debe de ser ubicado un transmisor, cuya función consiste en hacer llegar la información hacia el satélite para que ésta la retransmita al destino final. Es por ello, por lo que en diversos puntos de las ciudades se pueden observar pequeñas antenas de tipo parabólico cuyas orientaciones son verticales y apuntando hacia un satélite.

Éstas son las llamadas “*antenas de microondas*”, en las que se utiliza el principio de “*direccionalidad*” descrito antes. Cabe señalar que la diferencia primordial entre las emisiones de radio y las de microondas se encuentra en que las primeras son omnidireccionales (se transmiten en todas direcciones), y las segundas son unidireccionales, por lo que la radio no requiere de antenas de tipo parabólico.

Aunque el término de “*transmisiones de radio*” incluye a casi todo tipo de transmisiones de tipo electromagnético, las aplicaciones de la radio se asignan de acuerdo a las bandas del espectro en el que se realizan las transmisiones.

Cuando se habla de un segmento espectral en particular, es lo equivalente a hablar del rango en que se encuentra la longitud de las ondas en ese segmento. La tabla 1.8 presenta a manera de ejemplo algunas de las aplicaciones de los distintos rangos del espectro:

Banda	Nombre	Aplicaciones
30 – 300 KHz.	LF (<i>low frequency</i>) o baja frecuencia.	Navegación aérea y marítima.
300 – 3000 KHz.	MF (<i>medium frequency</i>) o frecuencia media.	Navegación, radio comercial de AM o amplitud modulada, enlaces privados fijos y móviles.
3 – 30 MHz	HF (<i>high frequency</i>) o alta frecuencia.	Radiodifusión onda corta, y enlaces fijos y móviles.
30 – 300 MHz	VHF (<i>very high frequency</i>) o muy alta frecuencia.	Televisión, radio FM o frecuencia modulada, enlaces fijos y móviles.
300 – 3000 MHz	UHF (<i>ultra high frequency</i>) o frecuencia ultra alta	Televisión, microondas, navegación y meteorología.
3 – 30 GHz	SHF (<i>super high frequency</i>) o frecuencia super alta	Microondas, satélites y radionavegación
30 – 300 GHz	EHF (<i>extra high frequency</i>) o frecuencia extra alta	Experimental

Tabla 1.8 Ejemplos de rangos del espectro electromagnético.

Para concluir, cabe señalar que una red de telecomunicaciones moderna y funcional requiere de diversos tipos de canales, para así lograr la solución más rápida y adecuada a los problemas de comunicación que pudieran presentarse.

REDES DE TELECOMUNICACIONES CONMUTADAS.

Este tipo de red consiste en una sucesión alternada de nodos y canales de comunicación, debiendo entender a los nodos como los repetidores de la información, ya que una vez que un mensaje viaja por los canales de comunicación llega a un nodo que a su vez lo retransmite a la red de nuevo hasta que llega a otro nodo y así sucesivamente hasta el destino final.

Existen dos tipos de conmutación en este tipo de redes:

- (i) la de paquetes, que es cuando el mensaje se divide en pequeños paquetes y a cada uno de ellos se le agrega cierta información de control y ésta circula de nodo en nodo siguiendo diferentes rutas, y al llegar al usuario final se reensambla el mensaje y se le entrega; y

- (ii) la de circuitos, que busca y reserva una trayectoria entre los usuarios de la red, se establece una comunicación y se mantiene durante todo el tiempo de transferencia de información. Para establecer este tipo de conexión, se requiere de una señal que reserve los diferentes segmentos que necesita la misma, pero una vez establecida este medio de transmisión quedará únicamente reservado para ese fin.

REDES DE TELECOMUNICACIONES DE DIFUSIÓN.

Este tipo de red tiene un canal al que están conectados todos los usuarios, pero solo pueden extraer del sistema los mensajes que identifican su dirección como destinatarios. Estos sistemas tienen solamente un nodo (*llamado "nodo transmisor"*), mismo que inyecta la información en un canal al que están conectados todos los usuarios. Para todo tipo de redes, el usuario requiere de un equipo terminal para poder tener acceso a la misma, pero que no forma parte de ella, de tal manera que si un usuario necesita comunicarse con otro no lo realiza mediante su equipo terminal, sino que tiene que enviar la información a la red y ésta la hará llegar al equipo terminal del destinatario.

Es importante señalar que no en todos los sistemas de telecomunicaciones los usuarios pueden transmitir información en las redes ya que en el caso de la radio y la televisión –entre otros- los usuarios son pasivos, es decir, únicamente pueden recibir la información que se manda mediante las estaciones transmisoras, mientras que en la telefonía todos los usuarios pueden transmitir y recibir información.

Otra característica importante de las redes de telecomunicaciones es su cobertura geográfica, ya que ésta determinará y/o limitará el área en la que el usuario puede conectarse. Caso aparte son las redes de cobertura urbana que distribuyen señales de televisión por cable en una ciudad, y cuando estas se reúnen forman las redes nacionales, y la unión de éstas configuran las redes globales de información, con lo que cualquier usuario del mundo tiene acceso a la mayoría de los acontecimientos que son de su interés, lo que ha originado el término de *"globalización de la información"*.

Se establece que todo sistema de información consta de las siguientes fases:

- Una fuente de información que es la que lleva al mensaje, como pueden ser: audio, video, voz, datos.
- Un transductor de entrada que transforma la señal de la fuente en una señal eléctrica. Ejemplos de transductores de entrada son un micrófono, una cámara de video, un escáner, etc.
- Un transmisor de información que transforma la señal eléctrica para ser transmitida en un canal de comunicaciones. Su proceso es modular, multiplexar, amplificar, codificar y filtrar la señal eléctrica.
- Un canal de comunicaciones que es el medio por el que se transmite la señal. Éste puede ser: el espacio libre (microondas, radiofrecuencia y vía satélite); cable metálico (cable coaxial o par trenzado); y fibra óptica (cable monomodo o multimodo).
- Un receptor de información que transforma la señal transmitida por el canal de comunicaciones en una señal eléctrica mediante el proceso de filtrar, demultiplexar, amplificar, decodificar y demodular a la señal eléctrica.
- Un transductor de salida que transforma la señal eléctrica a su forma original ya sea: audio, video, voz, datos. Como ejemplos tenemos: bocinas, monitores, impresoras, por mencionar algunos.

En la figura 1.1 se muestra como está constituido un sistema de información.

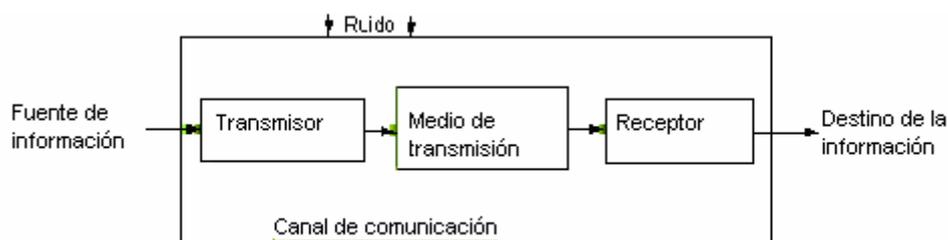


Figura 1.1 Elementos que forman un sistema de información.

CAPÍTULO 2

2. EQUIPO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES VÍA MICROONDAS.

Generalmente las señales procedentes de una fuente analógica son transmitidas también en forma analógica. En los sistemas analógicos se trata de conservar la forma de la señal ya que las deformaciones que puede sufrir durante la transmisión afectarían a la información que se va a transmitir.

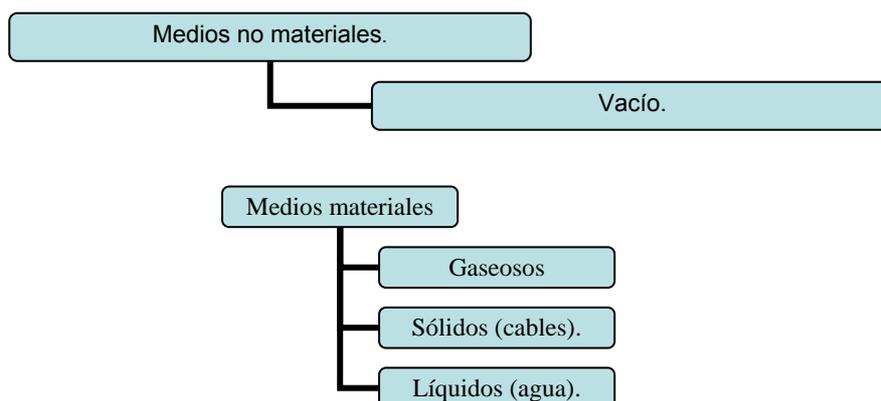
Durante el proceso de transmisión las señales se ven afectadas por distorsiones cuyos efectos es preciso tratar de compensar; y perturbaciones que dan lugar a la aparición del ruido que afecta a la calidad del enlace. Tal es el caso, por ejemplo, de la distorsión en la amplitud o atenuación, que consiste en que las frecuencias más altas son atenuadas en mayor proporción que las bajas, lo que obliga a la incorporación de igualadores que dan como resultado el que la atenuación sea constante en todas las frecuencias.

Por lo que al ruido se refiere, la calidad de la comunicación depende de la diferencia que existe, en el extremo del destino, entre la potencia de la señal y la del ruido que la encubre; entonces hay que conseguir que la relación entre la potencia de la señal y la potencia de ruido no resulte inferior a un determinado valor.

Desde hace algunos años, la aplicación de técnicas digitales a la transmisión de señales ha revolucionado el mundo de las telecomunicaciones. Mediante estas técnicas las señales analógicas se convierten en señales digitales o numéricas, que solo pueden tomar valores discretos, representados por dígitos o bits de valor "0" y valor "1".

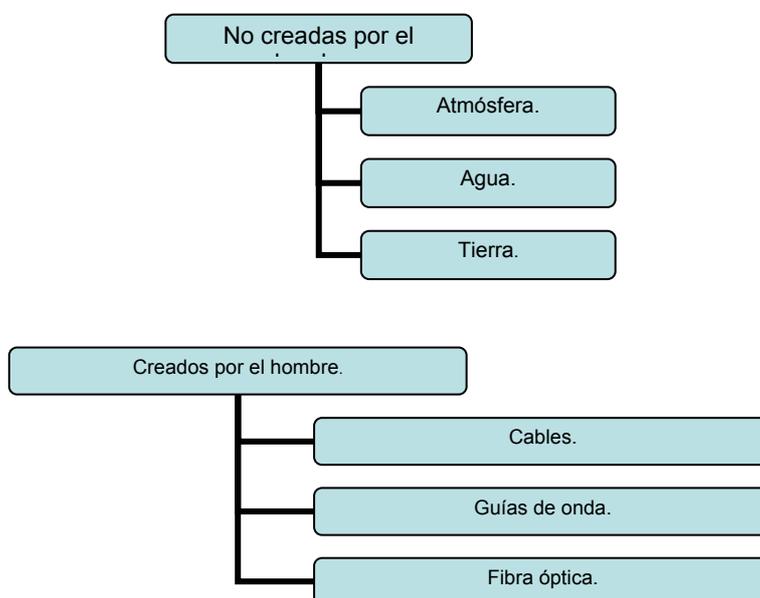
La señal analógica se transforma así en una señal constituida por impulsos de magnitud fija. De esta manera basta poder reconocer la existencia de un impulso para regenerarlo, no importando dentro de amplios márgenes, la degradación que haya podido sufrir durante la transmisión. En este caso es importante cuidar la tasa de error, definido como la relación entre número de bits erróneos recibidos y el número de bits transmitidos en la unidad de tiempo.

Un sistema de comunicaciones envía la información desde una fuente hasta un punto receptor separados entre si desde metros hasta miles de kilómetros. El medio físico por el que se propagan las señales que contienen la información durante este recorrido de la señal se conoce como medio de transmisión. En el cuadro 2.1 se puede observar un tipo de clasificación de los medios de transmisión:



Cuadro 2.1 Clasificación de los sistemas de comunicaciones dependiendo del medio en el que se propagan.

Otra clasificación sería la mostrada en el cuadro 2.2:



Cuadro 2.2 Clasificación de los sistemas de comunicación dependiendo del medio de propagación.

Atendiendo a la técnica utilizada para la transmisión de señales se puede establecer otra clasificación:

- Sistemas analógicos,
- Sistemas digitales.

Esta clasificación es la que se trata en este capítulo, además del tema de antenas que son parte fundamental para la transmisión y recepción de información en un enlace vía microondas, ya que en el extremo transmisor del sistema la antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el extremo receptor la antena convierte las ondas electromagnéticas en energía eléctrica por una línea de transmisión.

Un radioenlace está compuesto de varios elementos:

- Equipos de radio (*transmisores, receptores y repetidores*).
- Equipos de reserva.
- Sistemas de supervisión y control.

EQUIPOS DE RADIO.

Un radioenlace está constituido por estaciones terminales y estaciones repetidoras. Las estaciones repetidoras pueden ser de dos tipos dependiendo de las operaciones que realicen con la señal:

- 1) *Activas*: es donde se recibe la señal en la frecuencia correspondiente y es trasladada a frecuencia intermedia (FI), se amplifica y se retransmite a la siguiente frecuencia de salida. En las estaciones repetidoras no existe la demodulación de la señal por lo que al momento de amplificar la señal se acumulan emisiones parásitas y ruido generado en el trayecto de la transmisión. Estas repetidoras constan de equipos transmisores-receptores en cada sentido de transmisión.

- 2) *Pasivas*: son simples “espejos” que reflejan el haz radioeléctrico hacia la nueva dirección de propagación. Son utilizadas cuando hay que evitar obstáculos que no permiten la propagación directa de la señal. Además estos espejos introducen una atenuación adicional importante, ya que la señal que reflejan es una porción de la señal original transmitida por la antena de la estación transmisora.

Existe otro tipo de estaciones intermedias donde la señal es demodulada en banda base, donde se realizan ciertos procesos como la inserción o extracción de canales, regeneración de la señal, etc. Éstas son estaciones más complejas que suelen formar parte de sistemas que manejan algún tipo de encaminamiento de las comunicaciones.

Uno de los problemas que se presentan en los radioenlaces es que son sistemas que cuentan con sus equipos conectados en serie. Esto implica que en un corte o interrupción en la transmisión en cualquiera de los elementos, provoca que el radioenlace falle y deje sin servicio a las comunicaciones que lo estén utilizando. Es por esto, que se trata de diseñar radioenlaces con una mayor disponibilidad, para esto se requiere de una mayor redundancia de equipos para mantener la continuidad del enlace frente a posibles averías y el uso de técnicas de diversidad para evitar los desvanecimientos, así mismo, el establecer sistemas que supervisen y controlen la aplicación en forma automática de estas técnicas.

Es por esto que generalmente las estaciones actuales suelen funcionar en forma autónoma, por lo que es necesario el transmitir señales auxiliares junto a la información. Estas señales permiten el control y el mando en los equipos de la estación así como la supervisión de su estado, siendo enviadas por canales denominados *canales de servicio* que son utilizados por el personal y equipo de mantenimiento de las estaciones.

EQUIPOS DE RESERVA.

Estos equipos, como su nombre lo indica, se encuentran reservados para funcionar en caso de una posible falla o avería en el enlace. Cuando se produce una falla en la transmisión los equipos de supervisión y control conmutan la señal del radiocanal al equipo de reserva. Este proceso se puede llevar a cabo de dos maneras: automática, con equipos automatizados de control y manual, en la que el mismo operador restablece el servicio.

Los equipos de control están constantemente vigilando la calidad de la señal recibida. Ésta calidad es comparada con una señal de referencia que es transmitida junto con la información útil. Si la señal de información se encuentra por debajo de un determinado nivel llamado *umbral de conmutación*, durante un periodo de tiempo grande, el equipo de reserva entra en función al realizar una conmutación de radiocanal. El tipo de señal de referencia es variable según la naturaleza del radioenlace.

En los radioenlaces analógicos generalmente cada canal lleva incorporada una señal piloto de continuidad en una frecuencia superior a las de banda base. El umbral de conmutación se suele definir para un determinado nivel de la señal piloto además de que se puede utilizar otro parámetro en conjunto con el anterior, que es la potencia de ruido. Se debe tener en cuenta que un sistema de radiocomunicación puede dejar de estar en operación si el nivel de la señal es demasiado bajo o si el nivel de ruido es tan alto que no permite la demodulación de la información. Como umbrales de conmutación se utilizan caídas de nivel de la señal piloto que van de los 4 a 8 dB, e incluso los 15dB. En los radioenlaces digitales el criterio de conmutación lo establece un aumento de la tasa de error de bit.

SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL.

Un sistema de supervisión es un sistema de información que permite conocer el estado de los equipos e instalaciones, facilitando las funciones de mantenimiento y reparación en caso de fallas o averías. En la actualidad son utilizadas técnicas de control y mando de las estaciones por lo que resulta redituable al ahorrarse personal en mantenimiento que esté situado físicamente en las instalaciones de las terminales.

Estas técnicas permiten y facilitan el realizar las acciones precisas debido a que evitan la necesidad de desplazarse hacia donde se encuentran los equipos y centralizan el control y mantenimiento. Los datos que transmiten las terminales permiten identificar las posibles fallas y localizarlas.

Las comunicaciones de servicios se realizan en ambos sentidos. Los equipos actuales cuentan con equipos capaces de reaccionar ante comandos enviados desde el centro de control y gestionar el funcionamiento de los equipos de radio. El conjunto de estas operaciones requiere del establecimiento entre la estación de control y las supervisadas de circuitos a cuatro hilos equivalentes ya que la capacidad requerida está en función de la rapidez con que sea necesario transferir la información y reaccionar ante eventos que puedan intervenir de manera negativa en el enlace. Generalmente a estos sistemas de supervisión y control pueden proporcionarles un canal bidireccional de servicio que trabaja en la reserva y esto significa que se aprovecha una parte de las instalaciones del equipo principal.

2.1 SISTEMAS ANALÓGICOS.

En los radioenlaces analógicos la portadora está modulada en frecuencia FM. La información que transporta la portadora puede tener una capacidad entre 12 y 2700 canales según la jerarquía de sus portadoras de control. El ancho de banda que ocupa un radioenlace depende de la señal en banda base, del tipo de modulación utilizada y del número de canales. Los llamados planes de canalización de la UIT-R manejan estos aspectos, definiendo para cada tipo de señal un ancho de banda ocupado y unas frecuencias de transmisión. Una gran mayoría de los sistemas actuales de radio microondas utilizan la modulación en FM, pero más recientemente se han desarrollado sistemas que utilizan modulación por conmutación por fase, o por amplitud de cuadratura que son formas de modulación digital.

En los sistemas de radio y microondas se utiliza FM más que modulación en amplitud AM, porque las señales de amplitud modulada son más sensibles a no linealidades en amplitud, inherentes a los amplificadores de microondas de banda ancha. Las señales de FM son relativamente insensibles a esta clase de distorsión no lineal y se pueden transmitir por amplificadores que tengan no linealidad de amplitud. Las señales de FM son menos sensibles al ruido aleatorio y se pueden propagar con menores potencias de transmisión. El ruido de intermodulación en los sistemas de FM es generado por la distorsión de la ganancia de transmisión y del retardo; además de ser una función de la amplitud de la señal y de la magnitud de la desviación de la frecuencia, mientras que en los sistemas de AM el ruido por intermodulación es solamente una función de la amplitud de la señal.

Los sistemas de radio microondas que usan FM son muy conocidos por proporcionar comunicaciones confiables, flexibles y económicas cuando se utiliza a la atmósfera como medio de transmisión. Los sistemas de FM que utilizan un multiplexor adecuado son capaces de conducir en forma simultánea voz y datos; además se pueden configurar éstos sistemas para que transmitan datos a alta velocidad, audio con calidad comercial y televisión comercial.

Uno de los componentes de la FM es la banda base, que es la señal compuesta que modula la portadora de FM y que puede abarcar uno o más de los siguientes sistemas:

- Canales de banda de voz multiplexados por división de frecuencia.
- Canales de banda de voz multiplexados por división de tiempo.
- Video compuesto de calidad comercial.
- Datos de banda ancha.

EQUIPO DE FRECUENCIA MODULADA (FM).

Radiotransmisor de FM.

En el radiotransmisor de microondas de FM, de la figura 2.1 la red de preénfasis que se encuentra antes del desviador de FM produce un refuerzo para la amplitud de las frecuencias de la banda base superior. Esto permite que las frecuencias de la banda base inferior modulen la frecuencia de la portadora de la frecuencia intermedia (FI), y que las frecuencias de la banda base superior modulen la fase de esa portadora. El desviador de FM proporciona la modulación de la portadora y de la FI, que al final se transforma en la principal portadora de microondas.

Normalmente los índices de modulación se mantienen entre 0.5 y 1. De esta forma se produce una señal de FM de banda angosta en la salida del desviador. Como consecuencia el ancho de banda de la FI es muy semejante a la AM y es igual al doble de la frecuencia máxima de la banda base. La FI y sus bandas laterales se convierten a las mayores frecuencias en microondas mediante el mezclador, el oscilador y el filtro pasabandas.

Los generadores de microondas consisten en un oscilador de cristal seguido por una serie de multiplicadores de frecuencia.

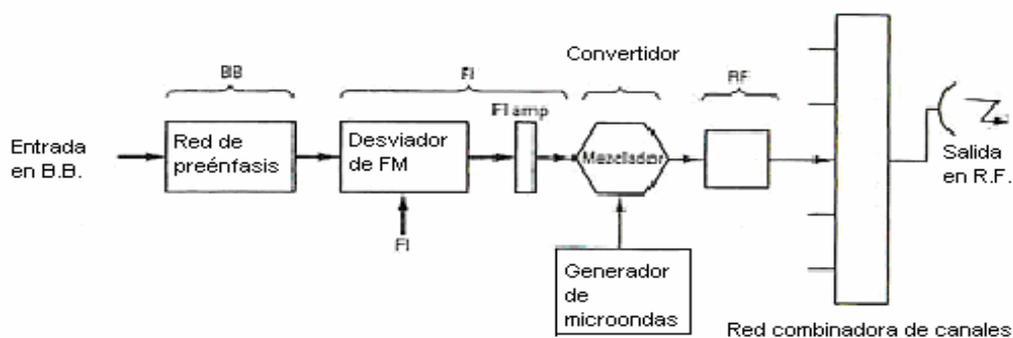


Figura 2.1 Diagrama de bloques de un radiotransmisor de FM.

Radorreceptor de microondas de FM.

En el radorreceptor que se ve en la figura 2.2 la red separadora de canales proporciona el aislamiento y el filtrado necesarios para separar canales de microondas individuales y dirigirlos hacia los receptores respectivos. El filtro pasabandas, el mezclador y el oscilador bajan la frecuencia desde radio frecuencia RF hasta FI llevándolos al demodulador para terminar en la red de deénfasis que restaura la señal de banda base a su forma original en función de la frecuencia.

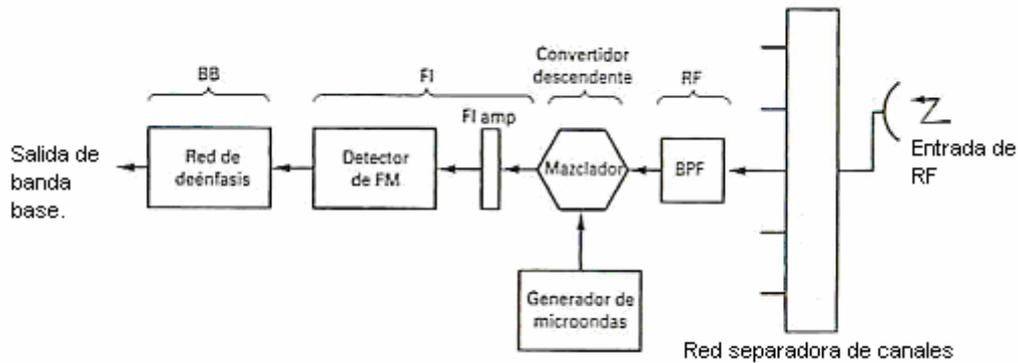


Figura 2.2 Diagrama de bloques de un radorreceptor de FM

Repetidoras de FM.

La distancia admisible entre un transmisor y un receptor depende de muchas variables del sistema como lo son: la potencia de salida del transmisor, el terreno, las condiciones atmosféricas o la capacidad del sistema, por mencionar algunas. Generalmente las distancias entre transmisor y receptor van de los 25 a 60 kilómetros o más, por lo que en sistemas en los que la distancia es mayor a los 60 Km., o cuando existen accidentes u obstrucciones geográficas como montañas en la trayectoria de transmisión, es necesario el uso de repetidoras.

La figura 2.3 muestra el diagrama de bloques de una repetidora de FM. Se define a la repetidora como un receptor y un transmisor instalados espalda con espalda o en *tandem*. La estación repetidora recibe una señal, la amplifica y la reconforma, y a continuación la retransmite hacia la siguiente estación repetidora o receptora.

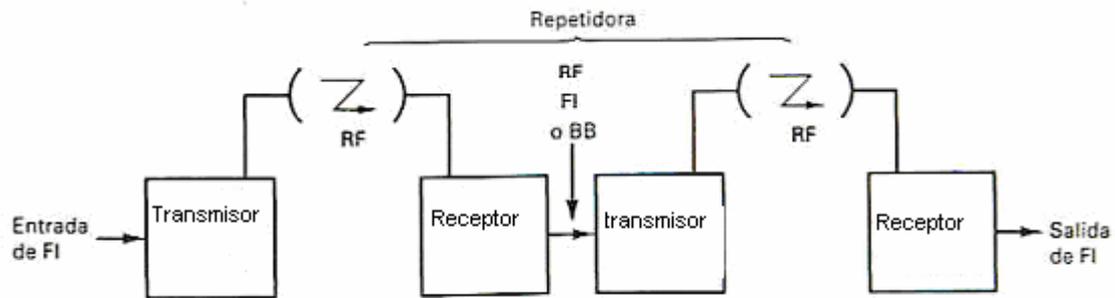


Figura 2.3 Diagrama de bloques de una repetidora de FM.

Existen tres tipos básicos de repetidoras: frecuencia intermedia (FI), banda base y radio frecuencia (RF).

En la primera la portadora de RF es recibida y reducida hasta FI, se amplifica, reconforma y es subida a RF para ser transmitida. Su diagrama de bloques se muestra en la figura 2.4. En la repetidora de banda base, la portadora de RF es reducida hasta FI, se amplifica, filtra y es demodulada hasta banda base, que suele ser de canales de banda de voz multiplexados por división de frecuencia (FDM). Nuevamente es demodulada hasta niveles de grupo maestro, súper grupo, grupo o hasta de canal. Esto permite reconfigurar la señal de banda base para cumplir con las necesidades de la ruta de red general de comunicaciones. Una vez reconfigurada la señal de banda base, modula en frecuencia a una portadora en FI, que se convierte en portadora de RF y finalmente se retransmite. La figura 2.5 contiene el diagrama de bloques de este tipo de repetidora.

En las repetidoras de RF, la señal recibida no se baja a FI o a banda base. Tan solo es mezclada con una frecuencia de oscilador local en un mezclador no lineal. A la salida del mezclador se sintoniza la suma o diferencia de la RF que llega y la frecuencia del oscilador local, dependiendo si se desea elevar o reducir la frecuencia, para a continuación amplificarse y retransmitirse hacia la siguiente repetidora o estación receptora. La figura 2.6 muestra el diagrama de bloques de una repetidora de RF.

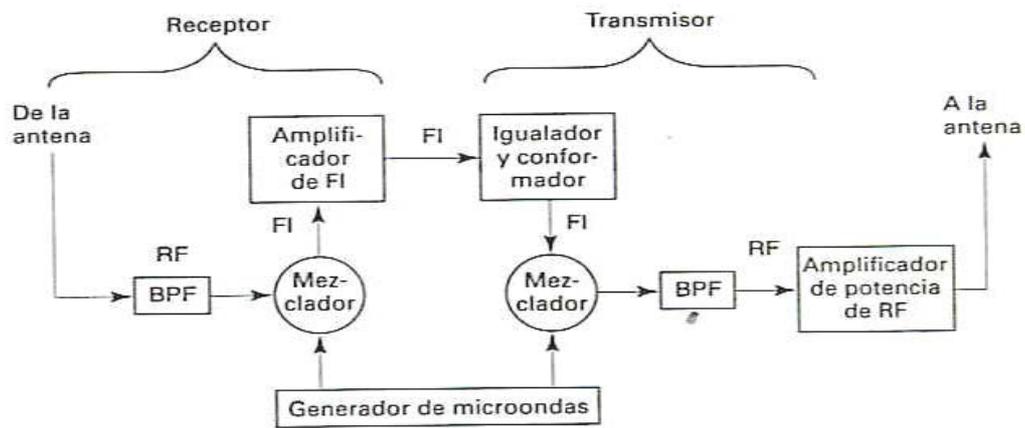


Figura 2.4 Repetidora de frecuencia intermedia FI

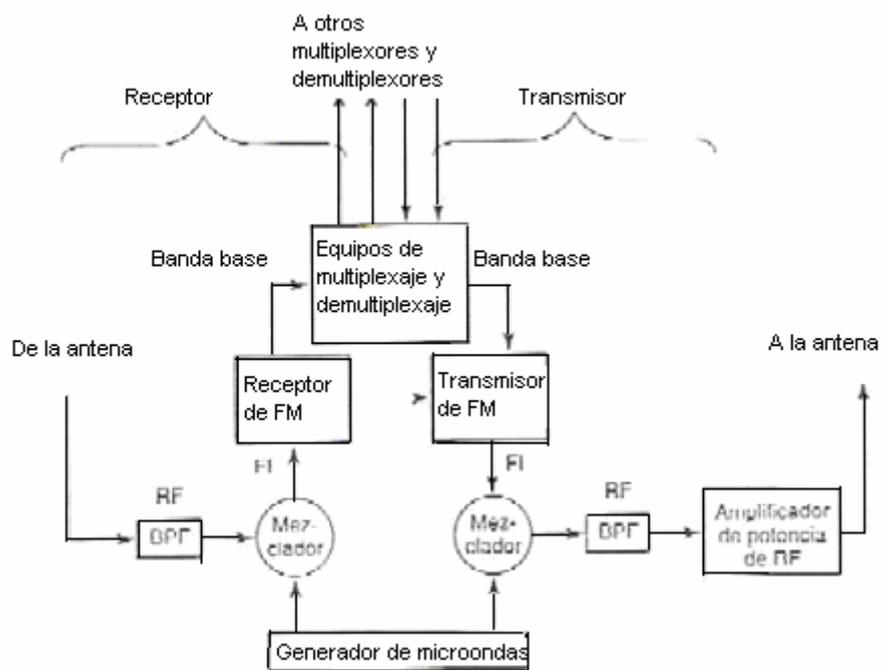


Figura 2.5 Diagrama de bloques de una repetidora de banda base

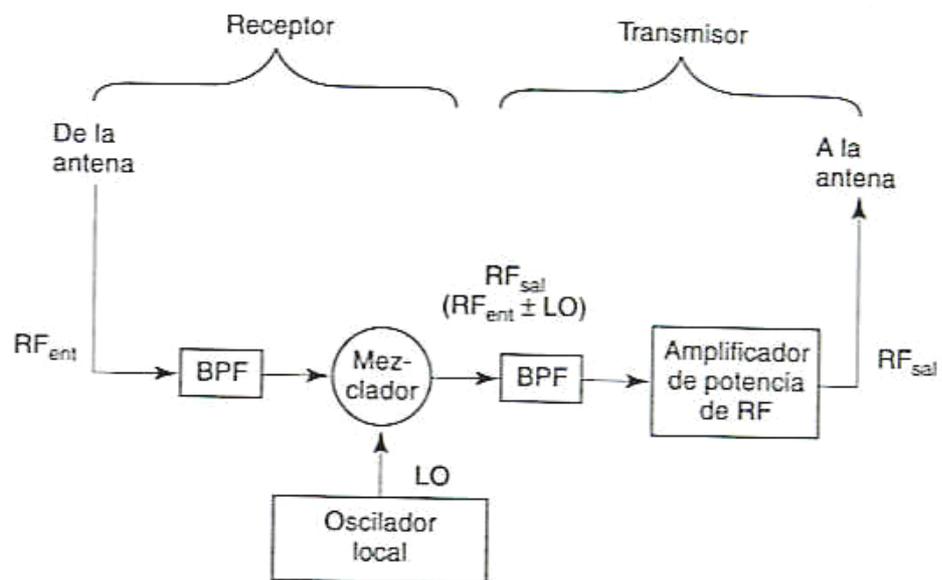


Figura 2.6 Diagrama de bloques de una repetidora en RF.

2.2 SISTEMAS DIGITALES.

En los radioenlaces digitales, como su nombre lo indica, la modulación es digital ya sea por PSK (modulación por desplazamiento de fase), QAM (modulación de amplitud en cuadratura), etc.

La modulación digital está normalizada por la UIT-R en unas jerarquías que definen una determinada capacidad del canal (2, 8, 34 o 140 Mbits/s). Existe otra medida de capacidad para dimensionar los radioenlaces. Se suele expresar en número de canales que es capaz de transportar (en radioenlaces analógicos) o la velocidad en bits por segundo (en radioenlaces digitales). Dependiendo de la capacidad se pueden establecer tres tipos de radioenlaces:

- Baja capacidad: hasta unos 30 canales, o 2 Mbit/s.
- Capacidad media: hasta unos 240 canales u 8 Mbit/s.
- Alta capacidad: de 300 a 2700 canales y por encima de 34 Mbit/s.

En radioenlaces digitales se utiliza otro tipo de expresiones para determinar el ancho de banda que ocupa la señal. Estas expresiones tienen en cuenta el tipo de modulación, las características del filtrado y la velocidad binaria transmitida. Una expresión que aproxima al ancho de banda ocupado es la ecuación 2.1.

$$B_T = K * F * V_b * R \quad 2.1$$

donde:

- K es el factor de modulación. Su valor es de 1 para sistemas de doble banda lateral, como PSK (*Manipulación por desviación de fase*) binarios y multinivel, y K = 0.6 para modulaciones de banda residual.
- F es el factor de especificación. Depende del filtro en banda base utilizado. F suele estar comprendido entre 1 y 2.
- V_b es el régimen binario antes de la modulación (bit/s).
- R es el factor de ancho de banda y expresa la relación entre la velocidad de símbolos (baudios) y régimen binario. Su valor es:

$$R = 1 / (\log_2 M)$$

Siendo M el número de niveles en la modulación multinivel. R hace referencia al número de bit/baudio.

A partir de la década de los años setenta, y como consecuencia especialmente de la introducción de los sistemas de conmutación digital, fue adquiriendo importancia la llamada radio digital. Los primeros equipos digitales de microondas empleaban *Manipulación por Desviación de Fase Cuaternaria* (QPSK), con la que se conseguía una eficacia de espectro menor a 2 bit/seg. Los avances técnicos posteriores han permitido que sean más altas las eficiencias.

Las técnicas digitales tienen dos ventajas principales en los radioenlaces por microondas. Primero, la acumulación de ruido cuando la señal viaja por muchos enlaces se evita si en cada repetidor se regenera la señal. Para esto es necesario demodular la señal, decodificar los datos y luego volver a codificar y modular en una nueva portadora, siempre y cuando la relación señal a ruido para cada enlace sea lo bastante alta para evitar errores. No habrá incremento en la tasa de errores a medida que la señal avanza por el sistema. En la práctica no se consigue una tasa cero de errores, pero las tasas de errores se sumarán de un enlace a otro, y no se multiplican como en los sistemas analógicos.

La segunda razón para emplear las técnicas de modulación digital en los radioenlaces vía microondas es mantener la compatibilidad con las señales en banda base con codificación digital.

Las señales digitales con multiplexación por división de tiempo pasan por los sistemas digitales de microondas sin alteraciones. La única desventaja de la transmisión digital de señales de voz y video es que requiere de más ancho de banda que la FM analógica. Sin embargo, el problema se reduce, por lo menos en teoría, conforme se diseñan mejores algoritmos de comprensión. En la práctica en muchos sistemas aún se utilizan 64 Kb/s para cada canal de voz.

En muchos sistemas de radio digitales se utiliza QAM 16 o QAM 64. En la primera se utilizan cuatro amplitudes y cuatro ángulos de fase para un total de 16 estados posibles o bien cuatro bits por símbolo.

La segunda tiene ocho amplitudes y ocho fases, dando 64 estados o seis bits por símbolo. Una QAM 256 transmite 8 bits por símbolo, mientras que una QAM 1024 solo se ha utilizado de manera experimental. Los sistemas QAM tienen la desventaja, común en todos los sistemas de AM, de requerir amplificadores lineales en el transmisor.

Los esquemas PSK no requieren esta linealidad, así que los transmisores pueden ser más eficientes. Por otro lado la QAM tiene mayor inmunidad con respecto al ruido que la PSK para una potencia de transmisor y tasa de datos determinados y requiere menos ancho de banda. Aparte del demodulador, los transmisores y receptores para radio digital por microondas se asemejan a los sistemas analógicos. Sin embargo, los repetidores deben demodular la señal con respecto a la banda base para lograr las ventajas de la transmisión digital.

A diferencia de su predecesora analógica, la radio digital es muy sensible a ciertas anomalías en la propagación debido al fenómeno de caminos múltiples, así como a las imperfecciones de los equipos. Para poder desarrollar sistemas de gran capacidad que cumplan los niveles de calidad necesarios, han tenido que superarse tales problemas gracias, en gran medida, a la cooperación en investigación y a la libre difusión de los resultados del comportamiento de los desarrollos inmediatamente de conocerse éstos.

Los Organismos de normalización, tales como el CCIR, el CCITT y la FCC, aprobaron una serie de recomendaciones e informes para asegurar que se adoptaban criterios uniformes sobre una base mundial. Los tres aspectos principales que se tratan en tales documentos son: la tasa de errores, la canalización de frecuencias o planes de frecuencias y las emisiones fuera de banda o interferencias. La velocidad normalizada para el canal digital de voz es de 64 Kb/s. En Europa, la jerarquía digital comienza con la multiplexación por división de tiempo de 30 de tales circuitos, más los bits de trama, que forman una señal de 2 Mb/s; el segundo nivel lo constituyen cuatro señales de primer nivel multiplexadas, con lo que se obtienen 120 canales de voz con 34 Mb/s, y el siguiente son 480 canales con 140 Mb/s y así sucesivamente.

Se establecieron planes de frecuencias o canalizaciones para portadoras radioeléctricas desde 2 GHz hasta 40 GHz. Aún cuando la tecnología digital se aplicó a la radio con objeto de evitar el efecto de la acumulación de ruido, al aumentar el número de repetidores, con objeto de compensar la atenuación producida por los hidrometeoros en las frecuencias por arriba de 12 GHz, la realidad es que las bandas de frecuencias más utilizadas son las inferiores a esta frecuencia, ya que la mayoría de los países utilizaron las infraestructuras existentes de radioenlaces analógicos.

2.3 ANTENAS.

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a líneas de transmisión, o ambos casos. Una línea de transmisión acopla la energía de un transmisor o de un receptor a una antena, que a su vez, acopla la energía de la atmósfera terrestre a una línea de transmisión. En el extremo transmisor la antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio mientras en el extremo receptor la antena convierte a las ondas electromagnéticas en energía eléctrica. Algunos ejemplos de antenas se encuentran en la figura 2.7.

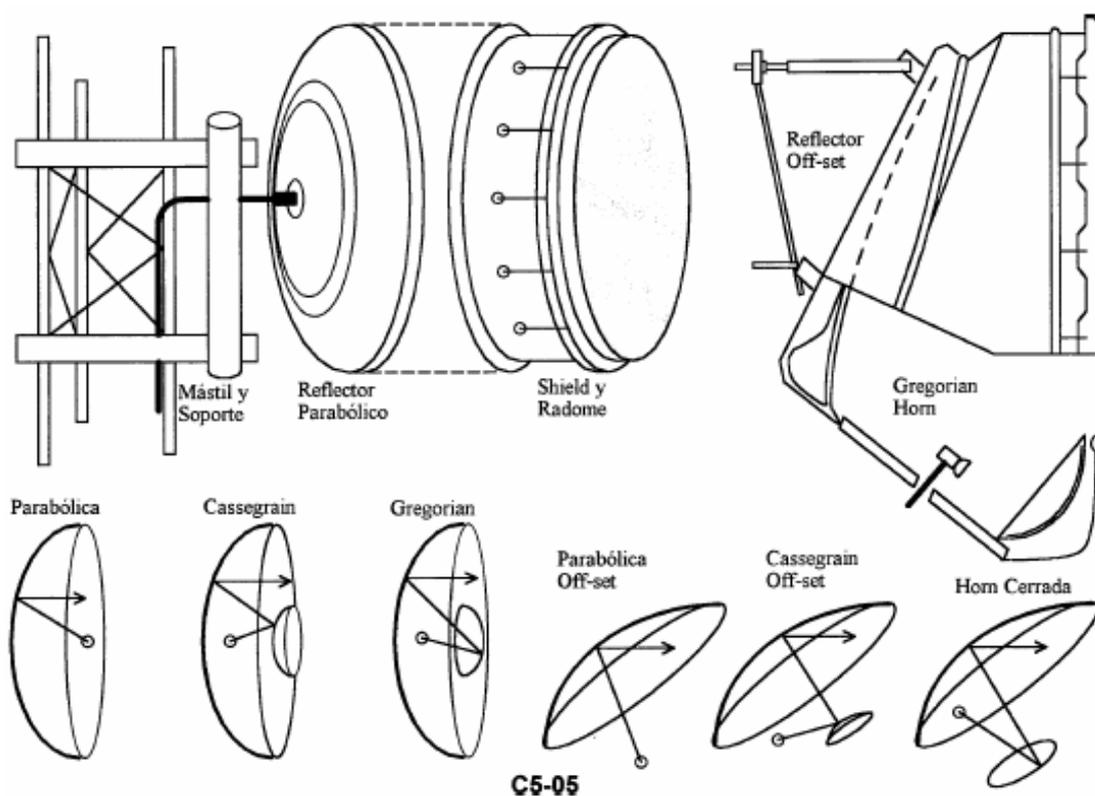


Figura 2.7 Antenas de comunicaciones.

TIPOS DE ANTENAS.

Los mismos principios se aplican a todas las antenas, emisoras o receptoras. La forma más sencilla de una antena es un simple cable elevado. Este tipo de antena fue introducido por Guglielmo Marconi en los primeros tiempos de la radio. Había sido descubierto que el alcance de su emisión pasaba de 100 a 1500 metros si utilizaba un cable como antena, en vez del cilindro metálico que utilizaba. A las antenas de elemento único se conoce como *monopolo*.

Una terminal del transmisor se conecta a la antena y el otro a tierra. Con esta disposición no se tiene el paso de corriente por la antena, sino que fluye entre ésta y tierra como si fuera a través de un capacitor estableciendo un campo magnético entre las dos.

Hay otras antenas de dos elementos llamados *dipolos*. Están formados por dos varillas de la misma longitud con los extremos encarados y separados unos centímetros. Cada varilla está conectada a una terminal del transmisor pero no entre sí. El campo se establece entre ambas varillas no siendo necesario unir a tierra ninguna de ellas. Este tipo de Antenas se muestran en la figura 2.8.

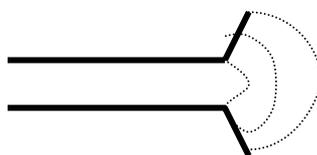


Fig. 2.8 Antenas del tipo dipolo.

Una antena básica es un dispositivo recíproco pasivo ya que en realidad no puede amplificar una señal a pesar de tener una ganancia. Una antena es un dispositivo recíproco porque las características y el desempeño de transmisión y recepción son idénticos como la ganancia, directividad, frecuencia de operación, ancho de banda, resistencia de radiación, eficiencia, etc. Las antenas de transmisión deben manejar potencias muy grandes y como consecuencia deben ser materiales que soporten los altos voltajes y grandes potencias, a diferencia de las antenas de recepción que producen voltajes y corrientes muy pequeños. Sin embargo ya en muchos sistemas se utiliza la misma antena para transmitir y para recibir la información, esto es con la finalidad de reducir los gastos. En estos casos la antena debe de ser de materiales robustos.

Si se utiliza una antena para transmisión y recepción debe de existir un medio para evitar que las señales transmitidas, que sean de gran potencia, se acoplen hacia el receptor. Para esta tarea se utiliza un elemento llamado diplexor, el cual también sirve para proporcionarles el aislamiento necesario.

Durante los estudios de propagación se supone que no existe ningún obstáculo entre la antena transmisora y los posibles puntos de recepción. A esta condición se le conoce como propagación en *espacio libre*. En la práctica resulta casi imposible encontrar condiciones de espacio libre debido a la presencia de accidentes geográficos y las características atmosféricas.

Antenas para bandas de frecuencias milimétricas.

El rápido crecimiento de nuevos sistemas punto a punto y punto a multipunto en bandas de frecuencias milimétricas ha generado una demanda por nuevos diseños de antenas. Cada sistema posee sus propios requisitos. Así, unos requieren antenas muy directivas con haces de tipo pincel, mientras que otros requieren cobertura sectorial u omnidireccional. Las bandas de frecuencias milimétricas han generado gran interés en los sistemas de comunicaciones debido al gran ancho de banda que ofrecen, si bien las tecnologías utilizadas para el diseño y la producción de componentes a estas frecuencias son muy costosas. Las frecuencias milimétricas se han utilizado tradicionalmente en enlaces punto a punto de alta capacidad.

Su principal aplicación se encuentra en las redes celulares, para manejar el tráfico entre las estaciones base y los centros de conmutación, o bien directamente entre las estaciones base. Frente a soluciones basadas en fibra óptica, la gran ventaja de estos sistemas es su rapidez de instalación, ya que se elimina la necesidad de obra civil. Cada uno de estos enlaces puede transportar entre 2 y 16 canales E-1/T-1 sobre distancias de unos 3 a 15 Km., dependiendo principalmente de la frecuencia y del tamaño de la antena utilizada. En la tabla 2.1 se resumen algunas de las frecuencias típicas utilizadas por estos enlaces punto a punto de alta capacidad.

Banda	Rango de frecuencias	Aplicación	Canalización
15 GHz	14,50-15,35 GHz	Enlaces fijos	CEPT/ERC Rec 12-07
18 GHz	17,70-19,70 GHz	Enlaces fijos	CEPT/ERC Rec 12-03
23 GHz	22,00-23,60 GHz	Enlaces fijos	ERC Rec T/R 13-02
26 GHz 25 GHz	24,50-26,50 GHz	Enlaces fijos P-P y P-MP (LMDS)	ERC Rec T/R 13-02
28 GHz	27,50-29,50 GHz	Enlaces fijos	ERC Rec T/R 13-02
32 GHz	31,00-33,40 GHz	Enlaces fijos de alta densidad, incluyendo P-MP	Bajo revisión
38 GHz	37,00-39,50 GHz	Enlaces fijos de capacidad baja y media	ERC Rec T/R 12-01
40 GHz	40,50-42,50 GHz	MVDS	ERC Rec T/R 52-01
52 GHz	51,40-52,60 GHz	Enlaces fijos de alta densidad	
56 GHz	55,78-57,00 GHz	Enlaces fijos de capacidad baja y media, corto alcance y baja potencia	ERC Rec T/R 22-03
58 GHz	58,20-59,00 GHz	Enlaces fijos de alta densidad	
65 GHz	64,00-66,00 GHz	Enlaces fijos de alta densidad	ERC Rec T/R 22-03

Tabla 2.1. Bandas típicas de frecuencias milimétricas utilizadas para enlaces punto a punto y punto a multipunto.

Las antenas típicas que se utilizan en aplicaciones punto a punto son las basadas en reflector parabólico. Estas antenas consisten en un reflector parabólico directamente iluminado por un alimentador, o indirectamente por medio de un subreflector. Las antenas que se emplean habitualmente como alimentadores son bocinas o bocas de guía. En el caso de alimentación indirecta se tienen configuraciones "Cassegrain" o "Gregorianas". En la figura 2.9 se muestran esquemáticamente todas estas posibilidades.

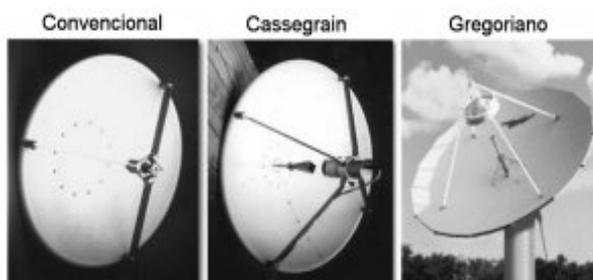


Fig. 2.9. Distintas posibilidades de reflectores parabólicos.

Conforme crece el número de radioenlaces instalados aumenta potencialmente el peligro de interferencias entre sistemas. Para reducir estos efectos los organismos reguladores dictan una serie de normas que deben cumplir los diagramas de radiación de las antenas en aplicaciones punto a punto. En particular las especificaciones indican que los lóbulos secundarios de la antena deben encontrarse por debajo de ciertos niveles. Estas especificaciones suelen representarse en forma de plantilla para poder compararse posteriormente con el diagrama de radiación de la antena. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 2.10.

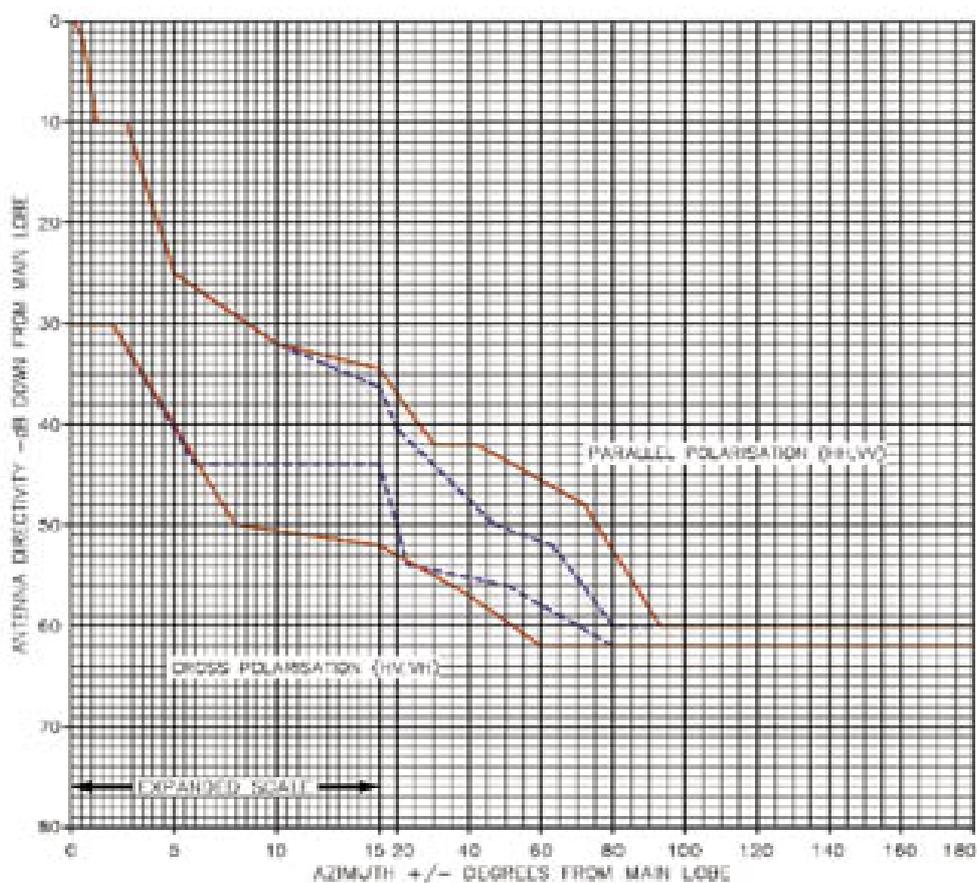


Fig. 2.10 Plantilla de especificaciones de una antena.

La reducción del nivel de los lóbulos secundarios de la antena puede conseguirse empleando diversas técnicas. El método tradicional consiste en colocar una cubierta absorbente a lo largo del perímetro del reflector que se encargue de absorber la radiación indeseada que provoca la aparición de lóbulos secundarios que se muestra en la figura 2.11.

No obstante, con las modernas herramientas de simulación actuales es posible diseñar otras alternativas que alcanzan las mismas prestaciones que los métodos tradicionales pero con ventajas funcionales. Una de ellas se basa en la utilización de un alimentador de banda ancha y un reflector con distancia focal muy reducida, obteniéndose una reducción significativa en la profundidad de la antena y, por lo tanto, en la carga al viento y en el coste de la antena. Al mismo tiempo, la antena resulta más estética, lo cual es importante considerando el creciente rechazo popular que están sufriendo este tipo de elementos radiantes.



Fig. 2.11 Cubierta utilizada para reducir el nivel de los lóbulos secundarios.

Como alternativa a los reflectores parabólicos se tienen las agrupaciones de perfil reducido que proporcionan antenas mucho más planas, aunque para que sean realmente competitivas la agrupación debe tener un coste, prestaciones eléctricas y mecánicas, y fiabilidad comparables. Por ello, los materiales de fabricación deben ser robustos, consistentes y de bajo costo. Por ejemplo, para alcanzar una ganancia de 44 dB (suponiendo eficiencia del 100%) se necesita una agrupación con un número de aperturas o elementos radiantes del orden de 25000.

En este caso se requiere una sofisticada red de alimentación para dividir la señal entre los diferentes elementos con las amplitudes y fases apropiadas. Evidentemente estas agrupaciones sufren pérdidas significativas debidas a la red de alimentación ya que la atenuación crece con las dimensiones de la agrupación. De hecho, las agrupaciones sobre circuito impreso no resultan prácticas para obtener ganancias superiores a 30 dB o 35 dB. Para aplicaciones donde se requiere mayor ganancia es necesario utilizar como alimentadores guía de ondas de bajas pérdidas.

Adicionalmente, para satisfacer los límites impuestos en el nivel de los lóbulos secundarios por los organismos reguladores, se requieren precisiones de amplitud y de fase en la alimentación de cada elemento de la agrupación que resultan extremadamente difíciles de alcanzar para producciones de gran volumen. Por ejemplo, para una agrupación de 38 dB de ganancia que deba cumplir el estándar "A" de la FCC (Federal Communications Commission) se requieren errores RMS de amplitud y de fase menores de 0,8 dB y de 0.12° respectivamente. Las agrupaciones sobre circuito impreso que se utilizan habitualmente para productos trabajando a frecuencias menores no son válidas a frecuencias milimétricas debido a las características de los materiales empleados como sustrato. Los errores que se obtienen para estas aplicaciones son muy grandes. Por lo tanto, a frecuencias milimétricas las agrupaciones no son una alternativa rentable frente a los reflectores parabólicos de alta ganancia.

En el caso de enlaces punto a multipunto o sistemas celulares operando a frecuencias milimétricas, el ejemplo más típico lo constituyen los sistemas LMDS (Sistema de Distribución Local Multipunto) y MMDS (Sistema de Distribución Multicanal Multipunto) que se muestran en la figura 2.12. Estos sistemas trabajan en bandas de frecuencias distintas dependiendo del país y se muestran en la tabla 2.1. Por lo tanto, las antenas utilizadas serán ligeramente diferentes.

Las antenas utilizadas en las estaciones base tienen ganancias menores pudiendo emplearse bien antenas omnidireccionales (6-15 dB) o bien sectoriales (15-25 dB).

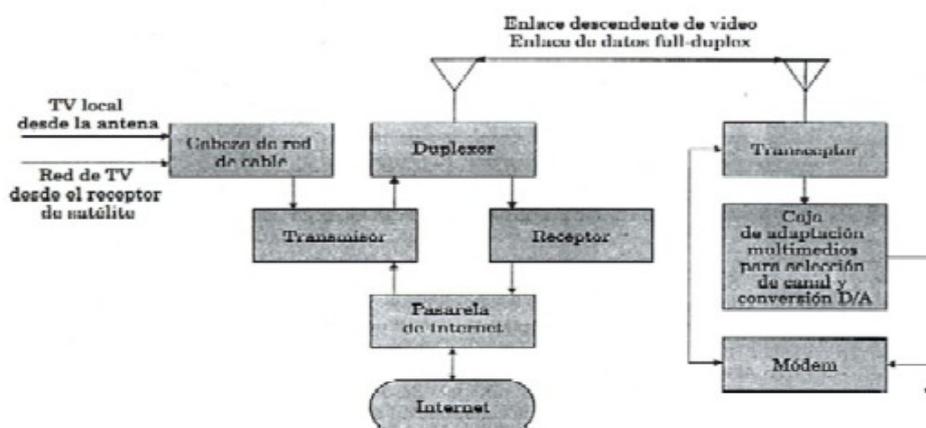


Fig. 2.12 (a)

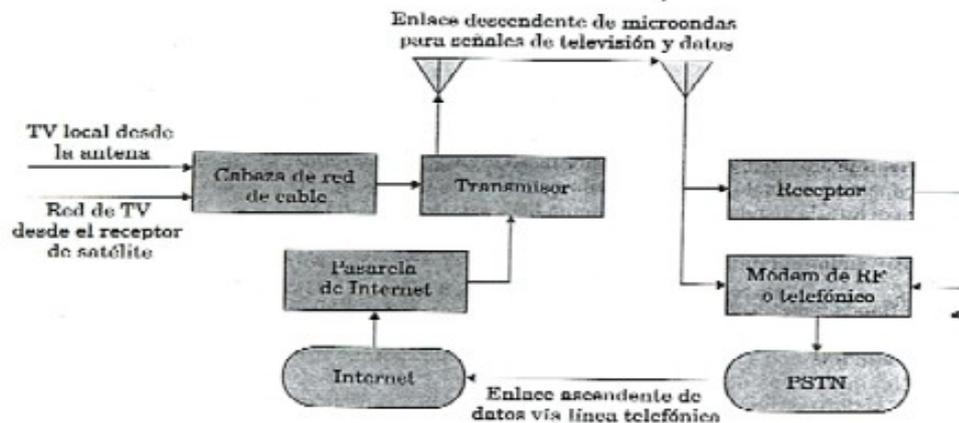


Fig. 2.12 (b)

Figuras 2.12 Sistemas LMDS (a) y MMDS (b).

En el caso de las antenas de la estación base, interesa radiar las señales de tal forma que todos los usuarios de la celda reciban un nivel comparable de potencia, al mismo tiempo que fuera de la celda se reciba la menor potencia posible por cuestiones de interferencia.

Suponiendo un esquema sectorial, la mejor solución para ello es emplear una antena con un determinado diagrama de radiación en elevación y lóbulos secundarios acimutales muy bajos. Suele especificarse también en este caso una plantilla donde se limita el nivel de los lóbulos secundarios en los sectores adyacentes, y de la radiación de polarización cruzada. En la figura 2.13 se muestra el aspecto de una de estas antenas.

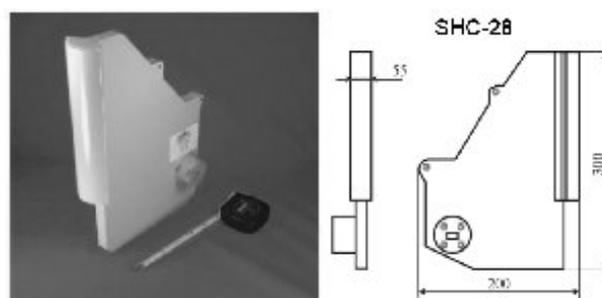


Fig. 2.13 Antena sectorial para estación base LMDS.

Por otro lado los clientes LMDS requieren antenas similares a las empleadas en los enlaces punto a punto comentados anteriormente, aunque con diferencias notables en cuanto a coste y fiabilidad. Esto se traduce en antenas e instalaciones menos sofisticadas y de menor coste, similares a las de TV satélite. En la figura 2.14 se muestra el aspecto típico de una instalación de abonado.



Fig. 2.14 Instalación de abonado LMDS.

Anteriormente se ha comentado que para que los distintos usuarios de un sistema LMDS reciban un nivel de señal comparable independientemente de su distancia a la estación base, es necesario conformar un cierto diagrama de radiación en el plano vertical.

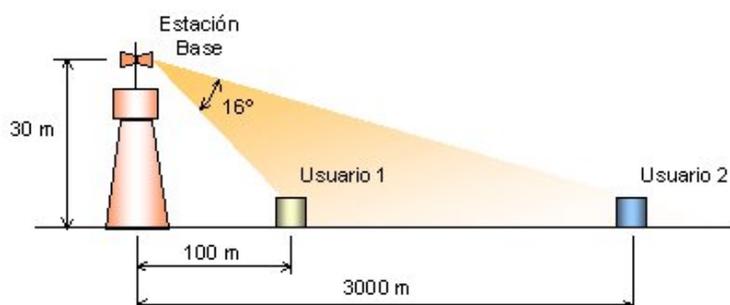


Fig. 2.15 Perfil de una celda LMDS.

La forma que debe adquirir este diagrama es del tipo cosecante al cuadrado (csc^2), tal y como se explicará a continuación.

Considérese la geometría de enlace representada en la figura 2.15, donde se ha tomado una celda de 3 Km. de radio y dos usuarios situados en el borde de la celda y a una distancia de 100 m de la estación base. De acuerdo con las distancias indicadas, se obtienen unos ángulos de elevación para las antenas de los usuarios 1 y 2 de $16,7^\circ$ y $0,6^\circ$ respectivamente.

La potencia de señal recibida por cada uno de estos usuarios es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida por las ondas radioeléctricas, la cual a su vez es inversamente proporcional al seno del ángulo de elevación. Por lo tanto, la potencia recibida es directamente proporcional al cuadrado del seno (sen^2) del ángulo de elevación. Para que ambos usuarios reciban la misma potencia es necesario colocar una antena en la estación base con un diagrama de radiación en el plano vertical del tipo csc^2 (inverso del sen^2). Así, normalizando la ganancia de la antena con respecto al usuario 2, el usuario 1 requiere una ganancia relativa de aproximadamente 29 dB.

En la figura 2.16 se representa la ganancia normalizada en función del ángulo de elevación. Todos estos cálculos previos tienen en cuenta tan sólo las pérdidas de propagación en espacio libre, sin considerar ningún fenómeno adicional. En el caso de sistemas operando a frecuencias milimétricas, la lluvia es un importante factor de degradación. Bajo condiciones de fuerte lluvia (15 mm/h por ejemplo), la atenuación puede llegar a ser mayor de 3 dB/Km., para frecuencias cercanas a los 28 GHz.

Así la señal del usuario 2 sufre unas pérdidas adicionales de 9 dB, mientras que en el caso del usuario 1 tan sólo de 0,3 dB. Esta atenuación por lluvia limita el alcance y las prestaciones del sistema, especialmente para los usuarios que se encuentran más alejados. Por lo tanto, para compensar los efectos provocados por condiciones atmosféricas adversas, se tiene que o bien sustituir los transceptores por equipos de mayor potencia y mejor sensibilidad, o bien modificar el diagrama de radiación de la antena para tener en cuenta la atenuación por lluvia.

El cambio necesario en el diagrama de radiación de la estación base para considerar los efectos de la atenuación por lluvia se muestra en la figura 2.15. Como puede observarse la ganancia debe aumentar considerablemente para los usuarios más alejados (ángulos de elevación menores), mientras que debe mantenerse prácticamente igual para los usuarios más cercanos (ángulos de elevación mayores). Esto significa que la antena debe tener un diagrama de radiación con una caída inicial más abrupta que el diagrama convencional del tipo csc^2 . En el ejemplo de la figura 3.7 se ha supuesto un margen de atenuación por lluvia de 10 dB. Las antenas comerciales suelen diseñarse para que su diagrama de radiación se encuentre entre las 2 curvas de la figura 2.15.

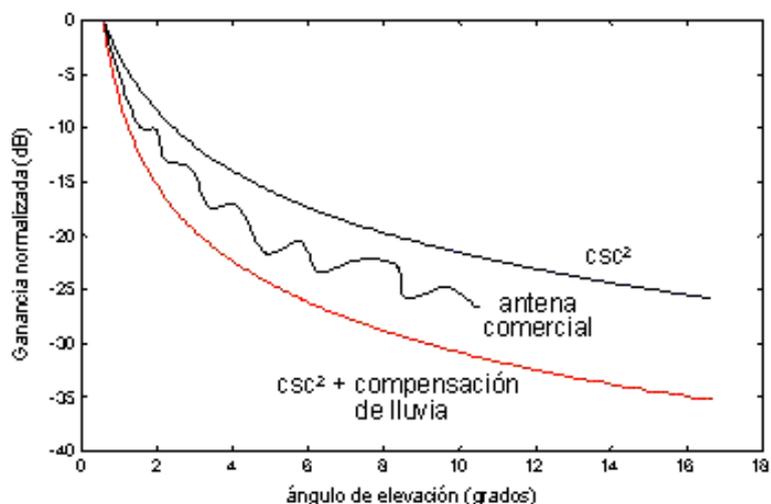


Fig. 2.15 Diseños de ganancia normalizada con y sin compensación de lluvia.

GANANCIA DE LAS ANTENAS.

Una antena tiene una ganancia aparente porque concentra la potencia irradiada en un haz delgado, más que mandarlo por igual en todas direcciones; además la abertura del haz disminuye al aumentar la ganancia de la antena. La relación entre el área, la ganancia y el ancho de banda de la antena se muestra en la figura 2.16.

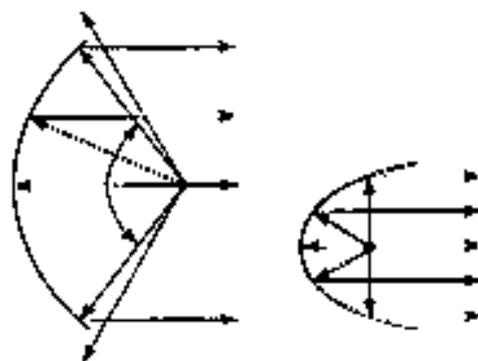


Figura 2.16 Relación entre el área, ganancia y ancho de banda de la antena.

Las antenas de microondas suelen tener aberturas de haz a mitad de potencia del orden de 1° o menos. Un haz angosto minimiza los efectos de la interferencia debida a fuentes externas y a antenas adyacentes, sin embargo un haz angosto tiene limitaciones, como lo son estabilidad mecánica y desvanecimiento que pueden causar problemas en el alineamiento de la antena.

Toda la energía electromagnética emitida por una antena de microondas no se irradia en la dirección del haz principal; algo de ella se concentra en los haces menores, llamados *lóbulos laterales*, que pueden ser fuentes de interferencia hacia o desde otras trayectorias de la señal de microondas. La figura 2.17 muestra la relación entre el haz principal y los lóbulos laterales, para una antena normal de microondas, como puede ser un reflector parabólico.

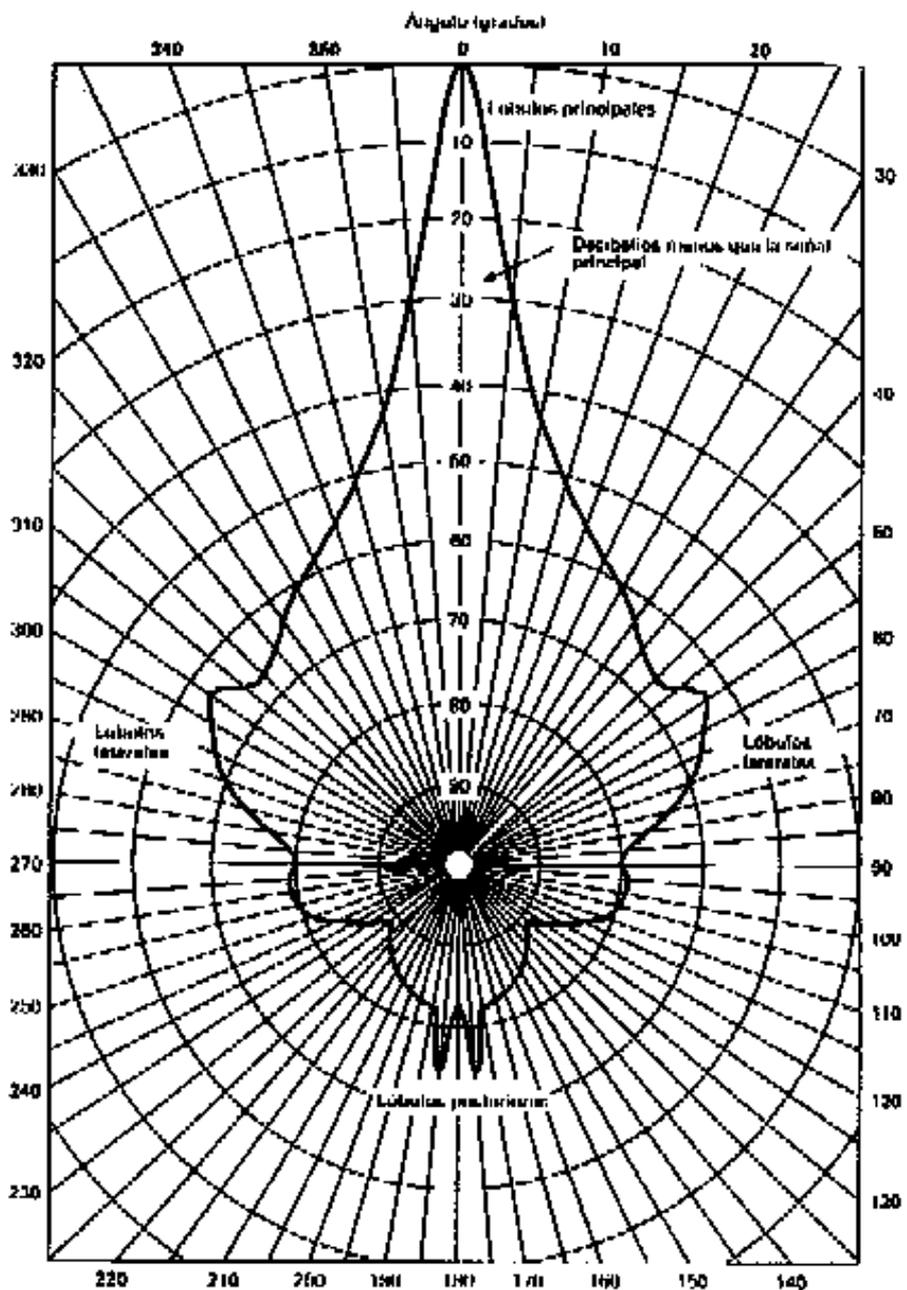


Figura 2.17 Relación entre el haz principal y los lóbulos laterales para una antena de microondas.

Las antenas de microondas tienen tres características importantes que son *la eficiencia direccional, acoplamiento lado a lado y acoplamiento espalda con espalda*.

La *eficiencia direccional* o relación de frente a espalda de una antena, se define como la relación de su ganancia máxima en dirección delantera entre su ganancia máxima en dirección trasera. La eficiencia direccional de una antena en una instalación real puede ser menor a 20 dB o más que su valor aislado ó al espacio libre a causa de las reflexiones en el suelo del frente, de objetos en ó cerca del lóbulo principal de transmisión. La eficiencia direccional de una antena de microondas es crítica en el diseño de un sistema de radio porque las antenas de transmisión y recepción en estaciones repetidoras se ubican con frecuencia opuestas entre si en la misma estructura.

Los *acoplamientos lado a lado y espalda con espalda* expresan en decibeles la pérdida de acoplamiento entre antenas que conducen señales de salida de transmisión y antenas cercanas que llevan señales de entrada de receptor. En forma típica las potencias de salida del transmisor tienen una intensidad de 60dB o más que las potencias de recepción. En consecuencia las pérdidas de acoplamiento deben ser altas para evitar que una señal de transmisión de una antena interfiera, con una señal de recepción de otra antena.

Las antenas de alta ganancia se usan con los sistemas de microondas de punto a punto o entre puntos fijos. Al enfocar la energía radioeléctrica en un haz angosto que se puede dirigir hacia la antena receptora, la antena transmisora puede aumentar varios órdenes de magnitud la potencia efectiva irradiada, respecto a una antena no direccional. La antena receptora también puede aumentar la potencia efectiva recibida en una cantidad parecida.

El tipo más común de antena de transmisión y recepción de microondas es el reflector parabólico. Las antenas de reflector parabólico proporcionan ganancias extremadamente altas y son muy usadas en los enlaces de comunicaciones por radio y satélite. Una antena parabólica está formada por dos partes principales: un *reflector parabólico* y el elemento activo, llamado *mecanismo de alimentación*.

El mecanismo de alimentación encierra la antena primaria, que normalmente es un dipolo o una red de dipolos; la antena irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector, el reflector es un dispositivo pasivo, que tan solo refleja la energía que le llega del mecanismo de alimentación, la reflexión produce una emisión muy concentrada y muy direccional en la que todas las ondas individuales están en fase entre sí y, por consecuencia, un frente de onda en fase.

El reflector parabólico es el componente más fundamental de una antena parabólica. Los reflectores parabólicos se asemejan en forma a un plato o a una fuente, y en consecuencia se les llama antenas de *plato parabólico* o *antenas de plato*. Para comprender como funciona un reflector parabólico es necesario comprender la geometría de una parábola.

Una parábola es una curva en el plano que se describe matemáticamente como: $y = ax^2$, y se define como el lugar geométrico de un punto que se mueve en forma tal que su distancia a otro punto (llamado foco), sumada a su distancia a una recta (llamada directriz) es una longitud constante. La figura 2.18 muestra la geometría de una parábola cuyo foco está en el punto F y cuyo eje es la recta XY , teniendo las siguientes relaciones:

- $FA + AA' = FB + BB' = FC + CC' = k$ (longitud constante)
- $FX =$ distancia focal de la parábola (metros)
- $k =$ constante para una parábola dada (metros)
- $WZ =$ longitud de la directriz (metros)

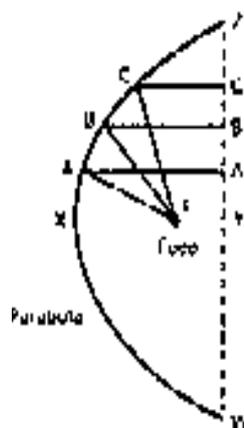


Figura 2.18 Geometría de la parábola.

La relación de la distancia focal al diámetro de la boca de la parábola (FX / WZ) se llama relación de apertura o apertura de la parábola. Es el término con que se describen los lentes de las cámaras. Un reflector parabólico se obtiene al girar la parábola en torno al eje XY . El plato de superficie curva que resulta se llama paraboloides.

Una antena parabólica consiste en un reflector paraboloides iluminado por la energía de microondas irradiada por un sistema alimentador ubicado en el foco. Si la energía electromagnética se irradia del foco hacia el reflector parabólico, todas las ondas irradiadas recorrerán la misma distancia cuando lleguen a la directriz (la recta WZ). Como consecuencia, la radiación se concentra a lo largo del eje XY y hay anulación en otras direcciones. Así, una antena parabólica posee el principio de reciprocidad, y funciona por igual como antena receptora para ondas que lleguen en la dirección XY , los rayos recibidos de todas las demás direcciones se anulan en ese punto.

No es necesario que el plato de la antena tenga superficie metálica maciza para reflejar o recibir las señales con eficiencia, la superficie puede ser una malla, que refleja casi tanta energía como una superficie maciza, siempre que el ancho de las aberturas sea menor que 0.1 por la longitud de onda. Si se usa una malla en lugar de un conductor macizo se reduce en forma considerable el peso del reflector además de que son más fáciles de ajustar y se ven menos afectados por el viento y en general se obtiene con ellos una estructura más estable.

La radiación tridimensional procedente de un reflector parabólico tiene un lóbulo principal que se asemeja a la forma de un puro en la dirección XY . La apertura aproximada del haz es de -3 dB para una antena parabólica, ecuaciones 2.2 y 2.3 en grados esto es:

$$\theta = \frac{70\lambda}{D} \quad 2.2$$

ó también

$$\theta = \frac{70c}{D} \quad 2.3$$

donde:

Θ = abertura del haz entre puntos de mitad de potencia (grados).

λ = longitud de onda (metros).

$c = 3 \times 10^8$ m / s.

D = diámetro de la boca de la antena (metros).

f = frecuencia (Hertz).

Y la ecuación 2.4.

$$\Phi_0 = 2\theta. \quad 2.4$$

Siendo Φ_0 la abertura del haz (grados) entre ceros de la gráfica de radiación. A una frecuencia dada, la ganancia de una antena parabólica es función de su área efectiva y se puede expresar mediante la ecuación 2.5.

$$G = 10 \log_{10} (4\pi A \eta / \lambda^2) \quad 2.5$$

donde:

G = ganancia de la antena isotrópica (dB).

A = área de la apertura de la antena (m^2).

η = eficiencia de la apertura.

λ = longitud de onda de la frecuencia de operación.

Las antenas parabólicas de que se dispone comercialmente se alimentan de manera convencional, por medio de una antena de cono en su foco y, generalmente, tienen una eficiencia del 55% o más; con tal eficiencia la ganancia es la ecuación 2.6.

$$G = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} F + 17.8 \quad 2.6$$

Donde:

F = frecuencia (GHz).

D = diámetro de la pérdida (metros).

Por ejemplo, si deseamos conocer el tamaño de una antena teniendo como datos $G = 15$ dB y $F = 6$ GHz, tenemos:

$$15 = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} 6 + 17.8$$

$$20 \log_{10} D = 15 - 20 * 0.7782 - 17.8 \log_{10} D$$

$$\log D = \frac{18}{20} = 0.9$$

$$D = 8 \text{ metros}$$

Las antenas parabólicas de plato, como la que se muestra en la figura 2.19 con alimentación a través de guía de onda (cono) son probablemente las antenas más económicas para la operación de radioenlaces de 3 GHz en adelante; de 100 MHz a 3GHz se usa alimentación mediante cable coaxial. En dicho rango tales líneas de transmisión llevan la energía de radiofrecuencia desde el transmisor/receptor a la antena. Por arriba de 3 GHz hay muchas pérdidas en el cable coaxial y es más práctico el uso de la guía de onda.

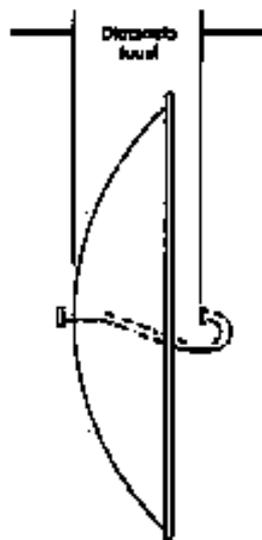


Figura 2.19 Antena parabólica de plato

CAPÍTULO 3

3. PLANEACIÓN Y FRECUENCIAS.

3.1 ASPECTOS GENERALES.

Los radioenlaces constituyen una aplicación práctica de un sistema de radiocomunicación. Establecen una comunicación entre un transmisor y un receptor mediante ondas radioeléctricas.

Si las terminales de transmisión y recepción se encuentran en un lugar fijo se denomina *enlace de servicio fijo*; y si las terminales son móviles se denominan *sistemas o servicios móviles*.

En base a esta clasificación nos enfocaremos a los radioenlaces terrenales que comunican puntos fijos de la superficie terrestre, puntos entre los cuales existe la necesidad de transportar información, ya sean canales de televisión, canales telefónicos, sistemas de comunicación militares, etc., y dependiendo de la aplicación debe proporcionar una calidad en la transmisión y una disponibilidad garantizada.

Los radioenlaces transportan varios canales de información. El medio de transmisión es el aire en lugar de un soporte metálico (como lo puede ser un cable), pero en el dimensionamiento de su capacidad se pueden aplicar las técnicas de multiplexación que se utilizan para los sistemas que se basan en cables metálicos como ocurre, por ejemplo, en el sistema telefónico. Además en los radioenlaces es necesario utilizar técnicas de modulación de forma que las antenas emitan la energía radioeléctrica y superponer la señal que se desea transmitir en una señal que la pueda transportar a mayor distancia.

El modelo de transmisión de un radioenlace es de tipo duplex, es decir, se envían parejas de frecuencias (ida y retorno) entre cada segmento del radioenlace, transmitiendo dos portadoras moduladas, una para cada sentido. Esta pareja de frecuencias se denomina *radiocanal* y es lo que caracteriza al radioenlace debido al número de radiocanales principales y de reserva que contiene el radioenlace. Los radioenlaces de servicio fijo utilizan la propagación troposférica en condiciones de visibilidad directa.

Para el diseño del enlace se utilizan técnicas de modelado por dispersión troposférica (se verá más adelante en este capítulo). Cuando los radioenlaces no cumplen la condición de *visibilidad directa* ó *línea de vista*, este se divide en varios segmentos de distancia que hacen posible salvar los obstáculos y evitar el efecto de redondez de la Tierra. Para esto se utilizan estaciones repetidoras de tal forma que el radioenlace estará constituido por dos estaciones terminales y un conjunto de estaciones repetidoras intermedias.

Para obtener el funcionamiento óptimo para el radioenlace se debe establecer un plan que puede o no estar aprobado por la administración local. Al planear un sistema de radioenlace nuevo o al añadir portadoras de radiofrecuencia al que ya existe o que se planea, el área debe ser estudiada con cuidado.

Por lo general, la oficina con autorización del gobierno. En México COFETEL (*Comisión Federal de Telecomunicaciones*), tiene información de los emisores y sus límites de radiación; los límites los establecen las autoridades nacionales.

Igualmente importantes son la direccionalidad de la antena y los lóbulos laterales de radiación. No solo se debe examinar la radiación de otras emisoras sino también la capacidad de la antena que se plantea para eliminar las señales que no se desean. Se debe conocer el patrón de radiación de todas las emisoras con licencia y se debe convertir el nivel del lóbulo lateral la PERI (*potencia efectiva radiada isotrópicamente*) en dB, en la dirección de la instalación que se planea; esto se hace para todos los posibles candidatos de interferencia en el rango de frecuencia de interferencia.

Para la PERI de cada emisora se debe probar la pérdida de trayectoria para la instalación que se planea con el objeto de determinar la interferencia. Dicho estudio puede afectar el plan de frecuencias o el diseño de la antena.

Se deben considerar también a las emisoras sin licencia. Muchas de estas emisoras se pueden clasificar como fuentes de ruido industrial, motores eléctricos, las radiaciones indeseables de las instalaciones de microondas privadas u otras (armónicas de radar).

Por ejemplo, si en una estación de radioenlace el receptor y el transmisor operan a la misma frecuencia, la pérdida entre ellos debe ser por lo menos de 120dB. Una manera de asegurar los 120 dB es colocar todos los canales de *ida* en la mitad de la banda que se asigna y todos los canales de *regreso* en la otra mitad. Los términos *ida* y *regreso* se usan para distinguir los dos sentidos de transmisión. Para canales de radiofrecuencia adyacentes en la misma mitad de la banda se usa alternadamente polarización horizontal y vertical. Pudiendo asignar la polarización horizontal (*H*) a los canales nones en ambos sentidos en una sección dada, y polarización vertical (*V*) a los canales pares. El aislamiento entre polarizaciones está en el rango de los 35 dB.

3.2 INTERFERENCIA Y TIPOS DE INTERFERENCIAS.

Este término se utiliza en los sistemas radioeléctricos y generalmente se aplica a casos en los que la influencia en el sistema radioeléctrico del espectro electromagnético incluye frecuencias perturbadoras para un sistema de radiocomunicación por coincidir sobre la banda de transmisión de éste. Algunos casos de ruidos atmosféricos como las descargas eléctricas pueden ser considerados como interferencias, al igual que se consideran dentro de este tipo de perturbación una serie de causas artificiales, entre las que se encuentran los motores eléctricos, transformadores, etc.

La interferencia de ondas de radio se produce siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas de tal manera que se degrade el funcionamiento del sistema. La interferencia está sujeta al principio de superposición lineal de ondas electromagnéticas y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto del espacio en forma simultánea.

Las interferencias producen señales no deseadas a la entrada del receptor, que son captadas junto con la señal de información y afecta a la calidad del funcionamiento del sistema. Estas interferencias se pueden clasificar según su forma de generación:

- Debidas al sistema.
- Provocadas por sistemas externos.

Las interferencias debidas al propio sistema se generan en los mismos equipos del radioenlace. Lo más común es que se deban a acoplos de señales de igual frecuencia debido a su reutilización en los sucesivos vanos, aunque también se da el caso de señales producidas en los propios equipos debido a no linealidades, reflexiones u otros efectos en los dispositivos. Las interferencias debidas a sistemas externos, son señales producidas por otros equipos que trabajan con frecuencias muy similares y que debido a las radiaciones parásitas, armónicas y radiaciones no esenciales pueden afectar las emisiones de otros sistemas de radio.

Además a las interferencias también se pueden clasificar según su posición relativa a la señal deseada como:

- *Interferencia cocanal*: son interferencias debidas a una fuente externa de frecuencia muy próxima a la de la portadora deseada.
- *Interferencia por canal adyacente*. se trata de una interferencia proveniente de un canal cercano al deseado.

Es muy importante evaluar la relación de potencias que llegan al receptor; entre la deseada y la de interferencia. Esta relación se denomina *relación portadora-interferencia* y se designa como (C/I) en dB. Las antenas también juegan un papel importante ya que normalmente las señales interferentes provendrán de lugares distintos, de donde las antenas no apunten, y su diagrama de propagación no proporcionará la misma ganancia.

En los *radioenlaces analógicos* se tiene en cuenta el efecto de las interferencias como potencias de ruidos adicionales. El efecto global es un aumento en la potencia de ruido que llega al demodulador. La potencia de ruido interferente es función de la relación (C/I) a la entrada del receptor, de las condiciones de modulación de las portadoras deseada e interferente, de las características de la señal en banda base de las portadoras deseada e interferente y de la separación de frecuencias entre portadoras. En banda base se utiliza el concepto de *relación señal-interferencia* (S/I) en dB. Para calcular la relación (S/I) se utiliza la ecuación 3.1 que es una igualdad:

$$\frac{S}{I} = \frac{C}{I} - L_N \quad 3.1$$

donde L_N es un factor de conversión que tiene en cuenta el proceso de demodulación de la señal interferente. Suponiendo que la interferencia se encuentra en la misma frecuencia de la portadora que la señal deseada, el factor L_N es de -22 dB. Cuanto más separadas están la frecuencia deseada y la interferente menor será L_N .

En los *radioenlaces digitales* las interferencias tienen un efecto menor en detección. La interferencia no suele producir errores apreciables aunque aumenta la probabilidad de generación de errores por ruido térmico dejando menos margen de potencia de señal frente al ruido. Lo que produce las interferencias es un desplazamiento: esto implica que para mantener la tasa de error de bit es necesario aumentar la potencia de la señal, o en caso contrario, el margen de desvanecimiento disminuirá si el nivel de potencia es inamovible.

Una de las interferencias más comunes en radioenlaces es la interferencia por sobresaltos entre vanos. El reutilizar una frecuencia en dos vanos adyacentes puede producir que la antena receptora reciba además de la señal del vano correspondiente, la señal del vano anterior. Estas dos señales se supone que serán muy semejantes, tanto en forma como en frecuencia, y aparecerán en forma conjunta en la salida. Este efecto se puede reducir si se utilizan antenas directivas y se selecciona correctamente su emplazamiento. Además es necesario disponer de una buena relación delante-atrás en las antenas receptoras de los vanos. Como norma general se utiliza una relación de 65 dB en cada sentido.

Para reducir las interferencias en canales adyacentes, se debe tener en cuenta la separación espectral de los canales y las características de selectividad en radiofrecuencia y frecuencia intermedia de los receptores. Se pueden utilizar distintas polarizaciones para canales adyacentes que aumentan el aislamiento.

Existen normas para reducir interferencia proveniente de sistemas exteriores como las del servicio fijo por satélite, radar, etc., basadas en limitar la densidad de flujo de potencia producida por dichos sistemas.

3.3 UBICACIÓN DEL EQUIPO PARA EVITAR INTERFERENCIAS.

Como se mencionó con anterioridad los radioenlaces están constituidos por dos estaciones terminales, una de transmisión y otra de recepción, y en algunos casos de estaciones repetidoras intermedias. La distancia que guardan entre cada una de estas estaciones se le conoce con el nombre de *vano* y se muestra en la figura 3.1.

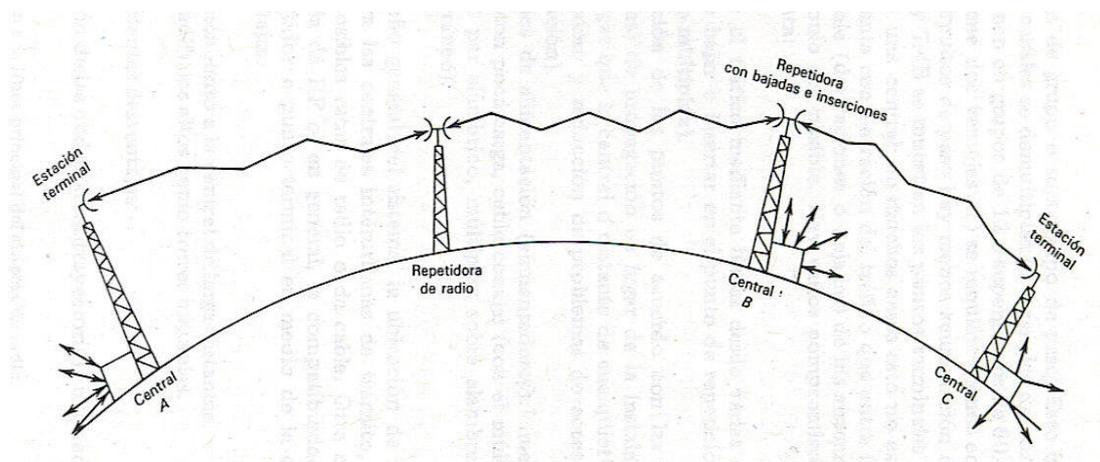


Figura 3.1 Distancia entre estaciones que forman un radioenlace.

Los radioenlaces vía microondas propagan señales a través de la atmósfera terrestre, entre transmisores y receptores que, con frecuencia, están en la punta de torres a distancias de 20 Km. a 45 Km., si existe una línea de vista. Pero existen radioenlaces de distancias mucho mayores; en estos casos no existe una línea de vista directa para establecer la comunicación por lo que es necesario establecer estaciones repetidoras.

Por razones económicas es conveniente que el número de vanos sea mínimo, lo que implica que los vanos sean de la mayor longitud posible. Sin embargo los vanos de gran longitud están más expuestos a fenómenos de desvanecimiento de señal. La determinación de la longitud óptima de los vanos que constituyen a un radioenlace es uno de los aspectos más importante de su diseño.

Existen radioenlaces donde se utiliza la *propagación troposférica* que generalmente es usada para grandes distancias que superan a los 100 Km.

La dispersión troposférica conlleva a atenuaciones severas, desvanecimientos, reflexiones, etc., por mencionar algunas desventajas; por lo que es necesario el transmitir con potencias elevadas y utilizar técnicas auxiliares como las *técnicas diversidad* las cuales se mencionaran en el capítulo 4.

La dispersión troposférica constituye una forma de transmitir información en frecuencia de microondas (bandas de UHF y SHF) a través de la troposfera entre puntos situados en la superficie terrestre y separados entre si de 100 a 1000Km. Constituye un medio económico para salvar grandes distancias y zonas deshabitadas donde no sería posible utilizar otro sistema de comunicación. La propagación se realiza reflejando el haz radioeléctrico en la atmósfera en una región denominada "*volumen común*", donde coinciden los haces de las antenas transmisora y receptora. La figura 3.2 muestra la región de volumen común en un radioenlace por dispersión troposférica.

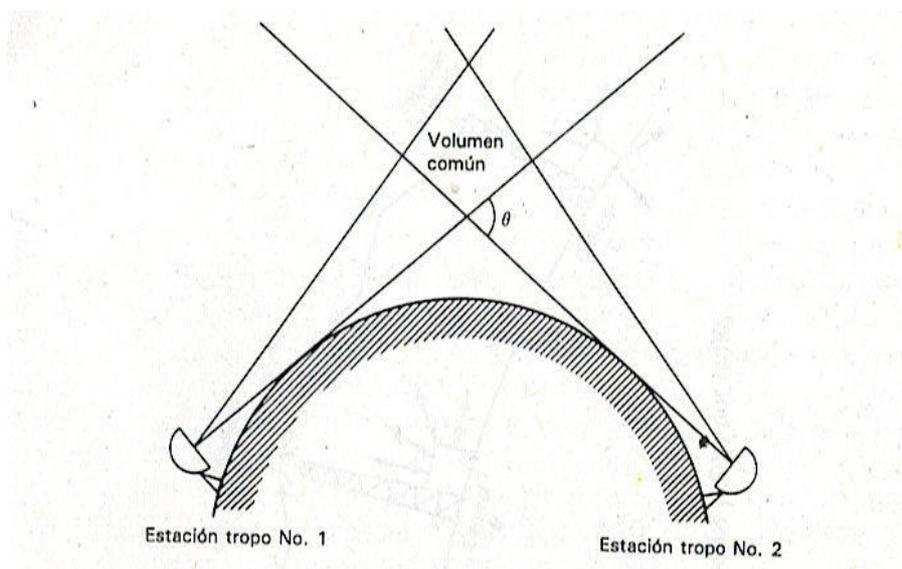


Figura 3.2 Radioenlace por dispersión troposférica.

Debido a las características de la atmósfera los parámetros que influyen en la propagación varían debido a la altura, frecuencia, humedad y densidad de la troposfera. En los enlaces troposféricos es usual encontrar desvanecimientos de larga y corta duración porque se acostumbra usar técnicas de diversidad combinada de espacio y frecuencia con el objeto de compensar las variaciones de intensidad de señal.

3.4 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS.

El espectro electromagnético está formado por ondas electromagnéticas que se producen en la naturaleza y que efectúan diferente número de ciclos por segundo (frecuencias). El espectro electromagnético es el espectro radioeléctrico (electricidad radiada) que es el espacio que permite la propagación sin guía artificial de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias están debajo de los 3000 GHz.

Dependiendo de las características de las frecuencias, se realiza convencionalmente un fraccionamiento del espectro electromagnético, al que se le denomina *bandas de frecuencias*, en las que las características de éstas permiten que se presten determinados servicios.

Las características de las frecuencias pueden ser, entre otras, el si las ondas pueden atravesar muros (por ejemplo, las frecuencias del radio FM "*frecuencia modulada*", o las frecuencias utilizadas para la telefonía celular), si tienen línea de vista (por ejemplo las estaciones transmisoras de microondas punto a punto), el alcance que tienen (en general entre menos frecuencias, menos distancia pueden recorrer las ondas sin que se distorsionen), etc.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) establece convencionalmente qué servicios de pueden prestar en qué bandas de frecuencias. Los proveedores de equipo de telecomunicaciones, siguiendo lo establecido por la UIT, desarrollan éste para que pueda utilizarse en cualquier parte del mundo, reduciendo los costos de los equipos por economías de escala.

Cada país es libre de optar por incluir en su legislación y regulación las recomendaciones de la UIT. México ha adoptado las recomendaciones de radiocomunicación a través del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones que desde 1947 se ha venido modificando conforme al desarrollo de las telecomunicaciones.

En las estaciones terminales se requieren dos frecuencias: una para la transmisión y otra para recepción, por cada canal. Se establecen así las condiciones que deben cumplir las emisiones para evitar posibles interferencias y acoplos entre las señales transmitidas y recibidas. Estos niveles están en torno a 60 y 90 dB de diferencia entre ambas, antena transmisora en un sentido y antena receptora en sentido opuesto.

Para esto se asignan frecuencias a las estaciones, agrupadas según dos planes diferentes:

- *Plan de 4 frecuencias*: se utilizan cuatro frecuencias destinadas para cada canal; es decir, en cada vano se utiliza una pareja de frecuencias que cambia en el siguiente vano. Se sigue este plan de frecuencias bajas o cuando la relación delante/atrás de las antenas es insuficiente.
- *Plan a 2 frecuencias*: se utilizan solo dos frecuencias en cada canal, siendo las frecuencias de transmisión y recepción iguales en todos los vanos.

Si se producen fenómenos de interferencia o acoplos de señal entre los vanos, se utiliza el cambio de polarización como medida de diversidad. Un plan de disposición de canales, o plan de canalización, distribuye las bandas de frecuencias utilizadas, su capacidad y la disposición de las portadoras que forman el radiocanal. Establece los siguientes parámetros:

- 1) Número de canales que pueden utilizarse en la banda.
- 2) Separaciones entre frecuencias.
- 3) Bandas de guarda.
- 4) Valores de las frecuencias portadoras.
- 5) Polarizaciones.
- 6) Frecuencia central de la banda.
- 7) Anchura de la banda.
- 8) Anchura de RF de las diferentes portadoras.
- 9) Tipo y capacidad del radioenlace.

De esta forma las reglamentaciones buscan optimizar la utilización del espectro protegiendo a los sistemas de interferencias ajenas.

También es importante facilitar la interconexión en radiofrecuencias de radioenlaces en circuitos que se manejan en forma internacional, facilitar la intercalación de radiocanales adicionales y posibilitar las transmisiones mixtas de radiocanales analógicos y digitales. Los planes de canalización dividen la banda de emisión en dos mitades. Las frecuencias portadoras de cada semibanda se utilizan para la transmisión y la recepción respectivamente. Además los radiocanales adyacentes alternan la polarización. A continuación se presenta un par de ejemplos de disposición de radiocanales, uno analógico y el otro digital.

Plan de frecuencia para un radioenlace analógico.

Un ejemplo de plan de frecuencia es el que figura en la UIT-R para la banda de 6 GHz. El ancho de banda del radiocanal es de 500 MHz que se divide en dos mitades, “inferior” y “superior”, de 250 MHz de ancho de cada una. Ambas contienen 8 portadoras de RF separadas entre sí 29.65 MHz. En la figura 3.1 se observa como se disponen las frecuencias.

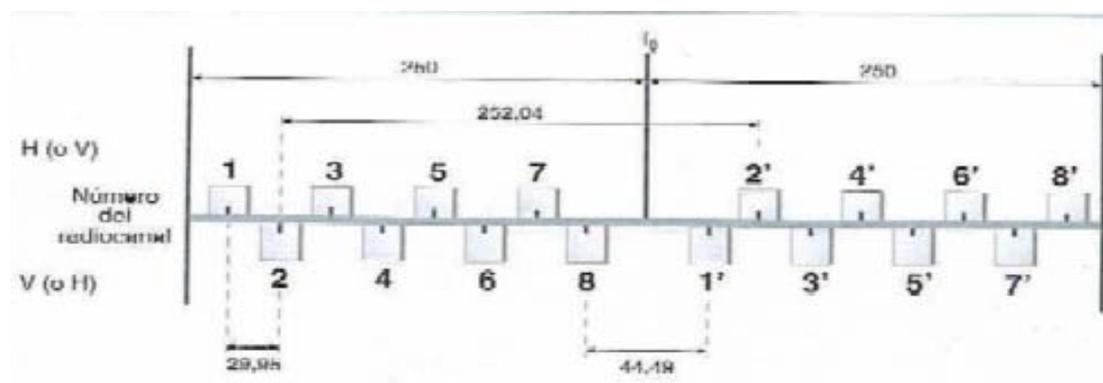


Fig. 3.1 Plan de frecuencias para un radioenlace analógico.

Aquí se designa con X a las frecuencias de transmisión y con X' a las de recepción. Se puede observar como se alternan las polarizaciones en las frecuencias contiguas.

Existe una banda de guarda, en este caso, de 44.5 MHz entre las dos mitades para reducir la interferencia *transmisión-recepción* y la banda de guarda entre portadoras es de 6.2 MHz.

El valor de la frecuencia central f_0 es 6.175 MHz. Las frecuencias de las portadoras se pueden obtener con las siguientes expresiones:

- Mitad inferior: $f_n = f_0 - 259.45 + 29.65 n$ (MHz),
- Mitad superior: $f'_n = f_0 - 7.41 + 29.65 n$ (MHz).

Plan de frecuencias para un radioenlace digital.

Como ejemplo de un plan de frecuencias para un radioenlace digital basados en la recomendación UIT-R 636 para la banda de 14 GHz para radioenlaces de mediana capacidad de este tipo. El ancho de banda es de 950 MHz, con separaciones entre radiocanales de 28 MHz. Se dispone de 16 radiocanales, cuyas frecuencias son:

$$f_n = f_r + 2.688 + 28 n \quad n = 1, \dots, 16$$

$$f'_n = f_r + 3.626 + 28 (N - n) \quad N \leq 16$$

Donde todas las frecuencias están en MHz. f_r es la frecuencia de referencia, cuyo valor es $f_r = 11.701$ MHz. En la figura 3.2 se observa este ejemplo.

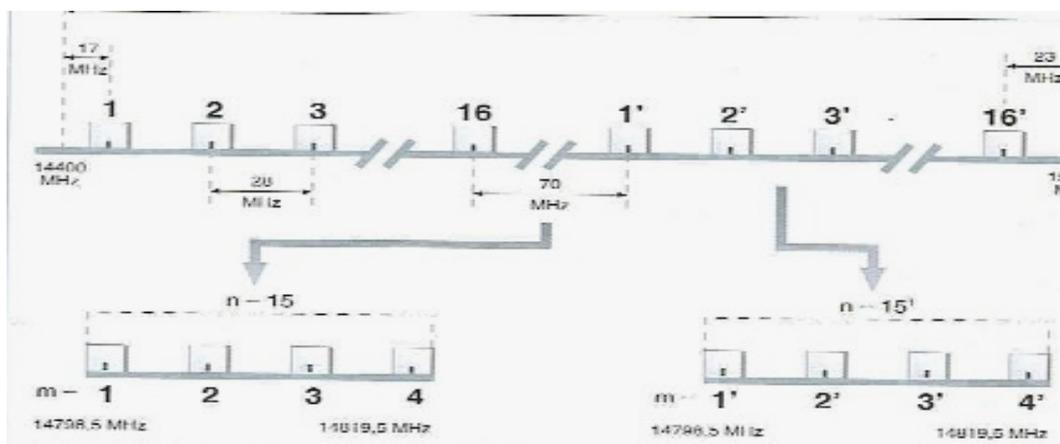


Fig. 3.2 Plan de frecuencias para un radioenlace digital.

En todos los planes se utilizan para cada sentido las frecuencias de una u otra mitad, siendo las frecuencias de la otra mitad correspondientes a la transmisión en sentido contrario. Para radiocanales adyacentes se alternan las polarizaciones para evitar interferencias.

CAPÍTULO 4

4. TRAYECTORIA Y CÁLCULOS DEL ENLACE.

4.1 UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN.

Los radioenlaces punto a punto vía microondas tienen muchos usos. Se utilizan como enlaces *estudio-transmisor* (*studio-to-transmitter, STL*) para estaciones de difusión de radio y televisión. También pueden enlazar las secciones de entrada o cabezas de red (sitios de antena) de muchas instalaciones de televisión por cable con sus sistemas de distribución. Otra aplicación muy común de los enlaces de microondas es como parte de una red de comunicaciones relacionada con señales de teléfono, datos o televisión.

Los sistemas de fibra óptica están siendo instalados preferentemente sobre los sistemas vía microondas para algunos servicios fijos punto a punto, ya que el ancho de banda en los sistemas de fibra óptica es mayor que el de las ondas de radio y requieren menor mantenimiento, pero su gran desventaja es que el precio de los sistemas de fibra óptica es muy elevado. Por ejemplo, en el caso de que se rompa una parte del cable de fibra óptica es necesario cambiar todo el tramo involucrado. Por otro lado, en los sistemas vía microondas se necesitan retransmisores solo a intervalos de 40Km., así que los sistemas de microondas son más fáciles de instalar en terreno difícil, como zonas montañosas o áreas extensas. Sin duda, los sistemas de microondas terrestres continuarán siendo parte de la red de comunicaciones en desarrollo.

Algunos sistemas de microondas utilizan un solo enlace o salto, en tanto que otros sistemas son multisalto que usan repetidores para ampliar el sistema más allá del alcance de vista de un solo enlace. En general, un sistema de microondas debe usar lo menos posible de repetidores; los repetidores cuestan y cada uno incrementa las posibilidades de un colapso del equipo que inhabilite al enlace.

Todavía más importante es que los enlaces adicionales contribuyen a los niveles de ruido en los sistemas analógicos e incrementan la inestabilidad en los digitales.

Las estaciones repetidoras no deben estar ubicadas más allá del alcance de propagación con línea de vista entre sí, y toda clase de consideraciones prácticas evitan que ciertos sitios se utilicen para repetidores. Es necesario adquirir el terreno, disponer el acceso y energía eléctrica e inspeccionar la topografía para elegir los mejores sitios de los receptores, de preferencia en puntos altos del terreno.

Los sistemas de microondas terrestres utilizan transmisores de potencia relativamente baja, con antenas parabólicas o de cuerno de alta ganancia. Al concentrar la potencia transmitida en un haz reducido las antenas incrementan la potencia efectiva y reducen la interferencia hacia y desde otros sistemas. No obstante, hay límites para la ganancia de la antena. Las ganancias mayores a 45 dB deben evitarse porque las antenas con esa cantidad de ganancia tienen aperturas de haz tan estrechas que los requerimientos de montaje sean difíciles de cumplir.

Un ligero movimiento de una torre de antena debido al viento es suficiente para que se pierda la señal con este tipo de haces de antena estrechas. Las líneas de alimentación entre transmisores o receptores o ambos, y las antenas, casi siempre se construyen con guías de onda a frecuencias arriba de 2GHz para reducir las pérdidas. A frecuencias menores podría utilizarse cable coaxial.

En los enlaces por microondas terrestres es común utilizar propagación por línea de vista. La distancia máxima entre dos estaciones depende de la altura de las antenas transmisora y receptora así como la naturaleza del terreno entre ellas. Para las condiciones atmosféricas promedio y el nivel del terreno, la distancia sobre la cual es posible la propagación por línea de vista está dada por la ecuación 4.1.

$$d = \sqrt{17h_T} + \sqrt{17h_R} \quad 4.1$$

donde: d = distancia máxima [Km.]

h_T = altura de la antena transmisora [metros]

h_R = altura de la antena receptora [metros].

La ecuación 4.1 solo da resultados aproximados. Para cálculos precisos es necesario obtener mapas topográficos del área y observar los obstáculos en la trayectoria entre el transmisor y el receptor.

Luego se grafica la trayectoria en papel para gráficas. Hay dos métodos comunes para hacer lo anterior. El primero es usar papel para gráficos ordinario y luego ajustar la altura de los obstáculos y el terreno a fin de compensar la curvatura de la Tierra. El segundo, es usar papel especial conocido como *papel de gráficas terrestres (4/3 earth paper)* en el que las líneas horizontales se curvan para representar la curvatura de la tierra. En la figura 4.1 se observa una muestra no a escala del papel de gráficas terrestres.

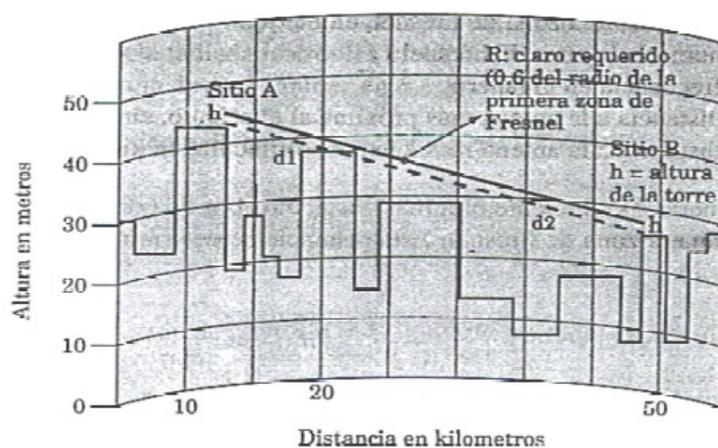


Figura 4.1 Papel de gráficas terrestres (muestra no a escala).

4.2 CÁLCULO DE LA ALTURA DE LAS TORRES DE TRANSMISIÓN PARA UNA TRAYECTORIA LIBRE.

Si se desea conocer la altura de las torres de transmisión y recepción suponiendo que estas tienen la misma altura y se encuentran separadas a una distancia de 40 Km., de la ecuación 4.1 tenemos:

$$d = \sqrt{17h_T} + \sqrt{17h_R}$$

Sea $h_T = h_R = h$ y $d = 40$ Km., entonces:

$$\begin{aligned} d &= 2\sqrt{17h} \\ h &= \frac{d^2}{68} \\ h &= \frac{40^2}{68} \\ h &= 23.5m \end{aligned}$$

Cada torre debe de estar por lo menos a 23.5 metros de altura.

Es evidente la necesidad de evitar que obstruyan la señal grandes obstáculos, como las montañas, pero también es importante evitar la difracción, que ocurre si el haz de radio es obstruido de manera parcial por un objeto sobre la Tierra.

La difracción puede cuasar que aparezca una segunda señal sobre el receptor y las dos señales, dependiendo de sus ángulos de fase relativos, podrían cancelarse entre si hasta cierto grado produciendo el desvanecimiento de la señal. Los efectos de la difracción se reducen asegurándose de que la trayectoria de la antena transmisora a la receptora evita un obstáculo por lo menos 60% de una distancia conocida como *primera zona de Fresnel*.

Las zonas de Fresnel provienen de la teoría de ondas de *Huygens-Fresnel* la cual establece que un objeto que difracta ondas actúa como si fuera una segunda fuente de esas ondas.

Las ondas directas y refractadas se suman, pero debido a la diferencia en la longitud de trayectoria de los dos rayos, la interferencia a veces es constructiva (*cuando las señales directa y refractada están en fase*) y a veces destructiva (*cuando están fuera de fase*). Las áreas donde la interferencia es constructiva se llaman zonas de Fresnel.

Cuando la distancia entre la trayectoria directa y el objeto que difracta las ondas se incrementa, la intensidad de la señal difractada disminuye y la interferencia se vuelve menos pronunciada. En la figura 4.2 se muestra como tiene lugar la interferencia.

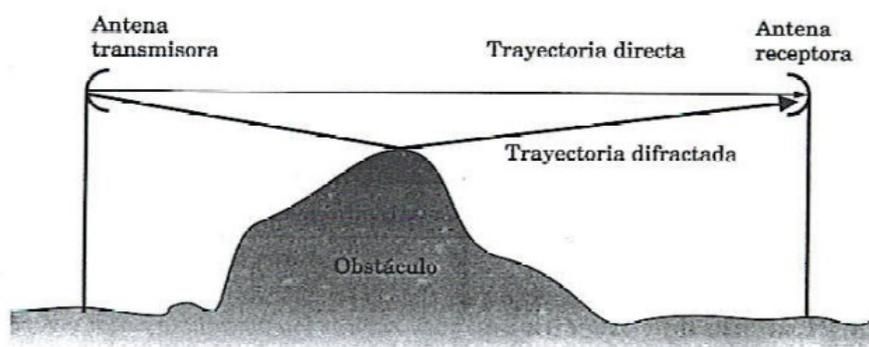


Figura 4.2 Interferencia debida a la difracción.

La distancia de un obstáculo a cualquier zona de Fresnel en la dirección en ángulos rectos con respecto a la trayectoria de propagación, está dada por la ecuación 4.2.

$$R_n = 17.3 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad 4.2$$

donde: R = espacio requerido desde el obstáculo [metros]

n = número de zona de Fresnel

f = frecuencia [GHz]

d₁ = distancia a la antena más próxima al obstáculo [Km.]

d₂ = distancia a la antena más lejana al obstáculo [Km.]

Como regla general es suficiente eliminar obstáculos por una distancia correspondiente a 60 % de la primera zona de Fresnel. Esta distancia se determina en la ecuación 4.3 que se obtiene modificando la ecuación 4.2.

$$R = 10.4 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad 4.3$$

donde: R = espacio requerido desde el obstáculo [metros]

f = frecuencia [GHz]

d₁ = distancia a la antena más próxima al obstáculo [Km.]

d₂ = distancia a la antena más lejana al obstáculo [Km.]

Una vez que se determinó la trayectoria para un enlace de microondas, es necesario asegurar que la potencia de la señal recibida es suficiente para la relación señal a ruido requerida. Las variables requeridas aquí son la potencia del transmisor, la cifra de ruido en el receptor y la ganancia de sus respectivas antenas. La densidad de potencia de una señal en condiciones de propagación en el espacio libre está dada por la ecuación 4.4.

$$P_D = \frac{PERI}{4\pi r^2} \quad 4.4$$

donde: P_D = densidad de potencia [W / m²]

PERI = potencia radiada isotrópica efectiva [W]

r = distancia desde la antena [metros]

Otra forma de la ecuación 4.4 es:

$$\frac{P_R}{P_T} (dB) = G_T (dBi) + G_R (dBi) - (32.44 + 20 \log d + 20 \log f) \quad 4.5$$

donde: $\frac{P_R}{P_T} (dB)$ = razón de potencia recibida a transmitida [dB]

G_T (dBi) = ganancia de la antena transmisora con respecto a un radiador isotrópico [dB].

G_R (dBi) = ganancia de la antena receptora con respecto a un radiador isotrópico [dB].

d = distancia entre el transmisor y el receptor [Km.].

f = frecuencia [MHz].

La potencia de la señal recibida se calcula para determinar si es satisfactorio el desempeño con respecto al ruido del sistema. Para sistemas analógicos el desempeño satisfactorio normalmente se define como una relación portadora a ruido que excede un determinado número de decibeles. La relación portadora a ruido es la relación señal a ruido medida antes de demodular la señal, es decir, mientras aún tiene una portadora.

Hay que recordar que con FM la relación señal a ruido en realidad puede ser mayor después de la detección que antes. Para determinar la relación portadora a ruido, se necesita la potencia de la señal y la potencia del ruido. La potencia de la señal se determina por medio de la ecuación 4.5.

El ruido consiste sobre todo de ruido térmico recibido por la antena (ruido espacial) o generado por la antena, línea de transmisión o receptor. La forma más fácil de combinar estas fuentes es encontrar la temperatura de ruido correspondiente para cada una referidas a la entrada del receptor, sumar estas temperaturas y luego encontrar la potencia de ruido a partir de la ecuación 4.6.

$$P_N = kTB \quad 4.6$$

donde: P_N = potencia de ruido [W].

k = constante de Boltzmann, 1.38×10^{-23} joules / Kelvin [J / K]

T = temperatura absoluta en grados Kelvin [K]

B = ancho de banda de la potencia de ruido [Hertz].

Examinando primero la antena, ésta recibe ruido ionosférica y quizá también de la Tierra dependiendo si el haz de la antena incluye a la misma. La temperatura de ruido ionosférico depende del ángulo de elevación de la antena, la frecuencia y las condiciones atmosféricas. Las pérdidas resistivas en la antena y su línea de alimentación también deben tomarse en cuenta para obtener una temperatura de ruido equivalente a la entrada del receptor. Suponiendo que la línea de alimentación está a la temperatura de referencia 290 K (17° C), la temperatura de ruido equivalente a la entrada del receptor está dada por la ecuación 4.7.

$$T_a = \frac{(L-1)290 + T_{ionos}}{L} \quad 4.7$$

donde: T_a = temperatura de ruido efectiva en la antena y la línea de alimentación [° K.].

L = pérdida en la línea de alimentación y la antena $\left(\frac{P_{input}}{P_{output}} \right)$.

T_{ionos} = temperatura efectiva ionosférica [° K.].

Una vez que se calculó la temperatura de ruido equivalente a la entrada del receptor solo es necesario sumar la temperatura de ruido del receptor. A veces se especifica la temperatura de ruido del receptor pero a menudo el desempeño con respecto al ruido del receptor se da como una cifra de ruido.

En este último caso, es fácil convertir la cifra de ruido a temperatura de ruido por medio de la ecuación 4.8.

$$T_{eq} = 290(NF - 1) \quad 4.8$$

donde: T_{eq} = temperatura de ruido equivalente [° Kelvin].

NF = cifra de ruido [adimensional].

Una vez que se determinan las temperaturas de ruido de la combinación *antena - línea de transmisión* y el receptor, se suman para hallar la temperatura de ruido del sistema.

4.3 RUIDO.

En el proceso de transmisión las señales siempre se ven mezcladas con señales ajenas. En realidad, cualquier proceso impuesto sobre alguna señal tiende a introducir perturbaciones indeseables, que se le conoce como ruido. Por lo tanto, el ruido es una señal indeseable sin relación alguna con la señal deseada. De acuerdo con la definición de ruido, el zumbido de la fuente de alimentación en un receptor de radio, las oscilaciones en un sistema de retroalimentación, etc., son señales de ruido que pueden predecirse y eliminarse con un diseño adecuado.

4.3.1 FUENTES DE RUIDO.

Existen varias fuentes de ruido que en general pueden clasificarse como:

- a) *Ruido producido por el hombre*: es debido a la recepción de señales indeseables provenientes de otras fuentes tales como contactos defectuosos, artefactos eléctricos, radiación por ignición y alumbrado fluorescente; tal ruido siempre puede evitarse eliminando la fuente que lo produce.
- b) *Perturbaciones naturales que ocurren irregularmente*: este puede ocurrir debido a relámpagos, tormentas eléctricas en la atmósfera, ruido en el espacio o disturbios atmosféricos en general.
- c) *Ruidos de fluctuación que se presentan en al interior de los sistemas físicos*: son debidos a fluctuaciones espontáneas como el movimiento térmico de los electrones libres dentro de un resistor, la emisión de los electrones en válvulas al vacío y la generación aleatoria, recombinación y difusión de portadoras en semiconductores.

4.3.2 EL RUIDO DE INTERMODULACIÓN Y EL RUIDO TÉRMICO.

El ruido de intermodulación es un factor importante en el diseño de sistemas de radio de frecuencia modulada (FM). En los sistemas de modulación en amplitud (AM), ese tipo de ruido se debe a la no linealidad de amplitud en la estación repetidora. En los sistemas de FM, el ruido de intermodulación es causado principalmente por la distorsión de la ganancia de transmisión y de retardo.

En consecuencia, en los sistemas de AM el ruido por intermodulación es una función de la amplitud de la señal, pero en los sistemas de FM es una función de la amplitud de la señal y de la magnitud de la desviación de frecuencia. Así las características de las señales de FM son más adecuadas para la transmisión por microondas que las de AM.

El ruido térmico se produce por el movimiento aleatorio de los electrones en un conductor debido al calor. La densidad de potencia de ruido térmico es constante con la frecuencia, desde cero hasta frecuencias muy por arriba de las utilizadas en los circuitos electrónicos. Es decir, hay la misma potencia en cada Hertz del ancho de banda. Entonces el ruido térmico es una combinación con igual proporción de ruido de todas las frecuencias. A menudo se le llama "*ruido blanco*" por analogía con la luz blanca.

La potencia de ruido de un conductor es una función de su temperatura, según lo señala la ecuación 4.6. Esta ecuación se apoya en el supuesto de que la transferencia de potencia es máxima. Es decir, la fuente (la resistencia que genera ruido) y la carga (el amplificador u otro dispositivo que reciba el ruido) supuestamente tienen acoplamiento de impedancia.

Para evitar el ruido es necesario el uso de filtros. Los filtros usualmente se especifican en términos de su ancho de banda de potencia media, es decir, en las frecuencias donde la ganancia del filtro está 3 dB debajo de su ganancia en el centro de la banda de paso. Un filtro pasabanda ideal impedirá el paso de ruido a frecuencias fuera de la banda de paso, así que su ancho de banda de potencia de ruido sería igual a su ancho de banda de potencia media.

Para un filtro práctico, el ancho de banda de potencia de ruido, en general, es mayor que el ancho de banda de potencia media puesto que las frecuencias que son atenuadas por más de 3 dB contribuyen a la potencia total del ruido.

4.3.3 CÁLCULO DEL RUIDO.

Para calcular el ruido total que aparece en un circuito es conveniente conocer la potencia de los ruidos parciales que lo componen teniendo en cuenta que la potencia de cada uno de los distintos tipos está compuesta de muchas potencias parciales debidas a numerosas fuentes de ruido de igual intensidad. Ocurre así en los sistemas de gran longitud con numerosos repetidores.

Para calcular el ruido total hay que tener en cuenta ciertas leyes de adición como lo son la suma de potencias y la suma de tensiones. La suma de potencias es posible cuando las tensiones correspondientes a las distintas potencias de ruido no están en fase. Pueden sumarse en potencia el ruido de fondo, el ruido de intermodulación de segundo orden en los repetidores y la mayor parte de los ruidos debidos a la diafonía.

En el caso de seguir la ley de adición de potencias son aplicables las siguientes formulas:

- La potencia total para n fuentes de igual potencia P se muestra en la ecuación 4.9.

$$P_{Total} = n * P \quad 4.9$$

- El nivel de potencia total para n fuentes aisladas de igual potencia y nivel N se muestra en la ecuación 4.10.

$$N_{Total} = N + 10 \log n (dB) \quad 4.10$$

- La potencia total para n fuentes de potencia diferente se muestra en la ecuación 4.11.

$$P_{Total} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad 4.11$$

- El nivel de potencia total para potencias de diferentes de niveles N_1, N_2, \dots, N_n se muestra en la ecuación 4.12.

$$N_{Total} = 10 \log(10^{0.1N_1} + 10^{0.1N_2} + \dots + 10^{0.1N_n}) \quad 4.12$$

La ley de suma de tensiones debe aplicarse si las diferentes fuentes de ruido están definidas por una relación definida d frecuencia y fase. Esta situación se produce cuando una fuente común genera diferentes frecuencias y se producen reflexiones.

Las formulas utilizadas en este caso son las siguientes:

- Tensión total para n fuentes de igual tensión V se muestra en la ecuación 4.13.

$$V_{Total} = n * V \quad 4.13$$

que expresada en función de potencias, se representa por la ecuación 4.14.

$$P_{Total} = n^2 * P \quad 4.14$$

- Tensión total para n fuentes aisladas de diferentes tensiones se muestra en la ecuación 4.15.

$$V_{Total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad 4.15$$

que da lugar a una potencia total, mostrada por la ecuación 4.16.

$$P_{Total} = (\sqrt{P_1} + \sqrt{P_2} + \dots + \sqrt{P_n})^2 \quad 4.16$$

- Nivel de potencia total para n fuentes aisladas de igual potencia y nivel N , se muestra en la ecuación 4.17.

$$N_{Total} = N + 20 \log n (dB) \quad 4.17$$

- Nivel de potencia total para potencias de diferentes niveles N_1, N_2, \dots, N_n , se muestra en la ecuación 4.18.

$$N_{Total} = 20 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.05 * N_i} \right) \quad 4.18$$

En la práctica los valores reales de P_{total} y N_{total} medidos en los círculos reales son a menudo, menores que los valores calculados en función de estas fórmulas.

Las pérdidas en terminales y líneas de transmisión se expresan como lo indica la ecuación 4.20.

$$L_{TT} = L_{DFT} + \alpha_t * l_t \quad 4.20$$

donde: L_{TT} = pérdidas en las terminales del transmisor.

L_{DFT} = pérdidas en duplexores y filtros del transmisor.

α_t = atenuación del alimentador de antena por unidad de longitud.

l_t = longitud de la línea de transmisión que alimenta a la antena.

En el receptor se tiene la ecuación 4.21 de igual forma:

$$L_{TR} = L_{DFR} + \alpha_r * l_r \quad 4.21$$

Donde: L_{TR} = Pérdidas en las terminales del receptor.

L_{DFR} = pérdidas en duplexores y filtros del receptor.

α_r = atenuación del alimentador de antena por unidad de longitud.

l_r = longitud de la línea de recepción que alimenta a la antena.

4.3.4 UMBRAL DE RECEPCIÓN.

La relación portadora a ruido es probablemente el parámetro más importante que se considera al evaluar el funcionamiento de un sistema de comunicaciones por microondas.

La potencia mínima de portadora de banda ancha (C_{\min}) a la entrada de un receptor produce una salida en banda base llamada *umbral del receptor*. Este umbral de recepción depende de la potencia del ruido de banda ancha presente en la entrada de un receptor, el ruido introducido dentro del receptor y la sensibilidad del detector de banda base al ruido.

Antes de poder calcular C_{\min} , se debe determinar la potencia de entrada. Esa potencia está dada por la ecuación 4.6 en donde igualamos P_N con N , obteniendo la ecuación 4.22.

$$N = kTB \quad 4.22$$

Donde: N = potencia de ruido [W].

k = constante de Boltzmann, 1.38×10^{-23} joules / Kelvin [J / K]

T = temperatura absoluta en grados Kelvin [K]

B = ancho de banda de la potencia de ruido [Hertz].

Si esto lo expresamos en decibeles obtenemos la ecuación 4.23.

$$N_{(dBm)} = 10 \log \left(\frac{kTB}{0.001} \right) = 10 \log \left(\frac{kT}{0.001} \right) + 10 \log B \quad 4.23$$

4.3.5 FIGURA DE RUIDO EN EL SISTEMA.

La figura de ruido (abreviado NF o solo F) es un valor de mérito que señala cuando un componente, etapa o conjunto de etapas, degrada la relación señal a ruido de un sistema. La figura de ruido no es más que una relación de señal a ruido en la entrada entre la correspondiente a la salida. Es por definición la ecuación 4.22.

$$NF = \frac{S_i N_o}{S_o N_i} = \left(\frac{S_i}{S_o} \right) \left(\frac{N_o}{N_i} \right) \quad 4.22$$

donde: $\left(\frac{S}{N} \right)_i$ = relación de potencia a ruido de entrada.

$\left(\frac{S}{N} \right)_o$ = relación de potencia de señal a ruido de salida.

Es muy común que tanto $\frac{S}{N}$ como NF se expresen en decibeles, en cuyo caso se tiene la ecuación 4.23.

$$NF (dB) = \left(\frac{S}{N} \right)_i (dB) - \left(\frac{S}{N} \right)_o (dB) \quad 4.23$$

En ocasiones a la cifra de ruido se le denomina *factor de ruido*.

4.4 DESVANECIMIENTOS.

Podemos definir a un desvanecimiento como: *la reducción de la intensidad de la señal en la entrada al receptor*, éste término se aplica a las variaciones de propagación en la trayectoria física de la radiación que afectan a los cambios de trayectoria en el transmisor en una estación y su receptor normal en otra estación.

Los cambios de trayectoria se asocian tanto a condiciones atmosféricas como a la geometría de la trayectoria misma. La refracción atmosférica puede transformar una línea de vista clara en una muy obstruida.

El desvanecimiento se puede presentar bajo condiciones de ciertas neblinas o cuando el aire es extremadamente frío se mueve sobre un terreno cálido. El resultado en cada caso es un aumento en la pérdida de trayectoria dentro de una amplia banda de frecuencias y para reducir este tipo de desvanecimiento se utilizan antenas con mayor altura.

Una forma más común de desvanecimiento es una relativamente rápida y selectiva de frecuencias originado por la interferencia entre uno o más rayos en la atmósfera. Las trayectorias separadas entre el transmisor y el receptor se deben a irregularidades en las variaciones de permitividad eléctrica con la altura.

Los márgenes de transmisión que se deben proporcionar para contrarrestar ambos tipos de desvanecimiento son consideraciones importantes al determinar los parámetros generales del sistema y la confiabilidad del funcionamiento. Un tipo de desvanecimiento por interferencia puede presentarse con cualquier intensidad. Tanto la cantidad de desvanecimientos, como el porcentaje del tiempo por debajo de determinado valor, tienden a aumentar a medida que aumenta la distancia entre estaciones repetidoras o la frecuencia de operación. Las trayectorias múltiples suelen ser aéreas aunque a veces pueden deberse a reflexiones en tierra.

Se pueden minimizar los efectos de desvanecimiento por trayectorias múltiples utilizando las *técnicas de diversidad* como la *diversidad espacial* o la *diversidad de frecuencia*.

4.4.1. MARGEN DE DESVANECIMIENTOS.

El margen de desvanecimiento es un factor que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema, para tener en cuenta las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas de radio, como lo es la pérdida por trayectorias múltiples y la sensibilidad del terreno. Estas características son causa de condiciones atmosféricas temporales y anormales que alteran la pérdida en la trayectoria en espacio libre y son perjudiciales para la eficiencia en el sistema; además de que el margen de desvanecimiento tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad en un sistema.

Por lo anterior, el margen de desvanecimiento se incluye como una pérdida en la ecuación de ganancia del sistema.

4.4.2. CONFIABILIDAD Y TÉCNICAS DE DIVERSIDAD.

La cantidad de estaciones repetidoras entre los conmutadores de protección depende de la confiabilidad del sistema en el que pueden encontrarse de dos a seis repetidoras entre estaciones conmutadoras. La confiabilidad puede definirse como la capacidad de un componente, equipo o sistema de no fallar durante un determinado periodo de tiempo. La confiabilidad puede distinguir tres tipos de fallas:

- Fallas que ocurren al iniciarse el periodo de vida operativo y que suceden generalmente por defectos en la producción, en el control de calidad o en la instalación.
- Fallas debidas al desgaste y que dependen del mantenimiento preventivo.
- Fallas aleatorias distribuidas al azar y que no dependen de pruebas a del mantenimiento.

Los sistemas de diversidad y los arreglos de conmutación de protección son parecidos pero la principal diferencia es que los sistemas de diversidad son arreglos permanentes y su objetivo es compensar las condiciones atmosféricas; en tanto que los arreglos de conmutación de protección compensan los desvanecimientos de radio así como las fallas del equipo.

Los canales de protección también se pueden utilizar como instalaciones temporales de comunicaciones mientras se realiza el mantenimiento rutinario de un canal normal funcional. Con un arreglo de conmutación de protección se protegen todas las trayectorias de señal y el equipo de radio.

La diversidad se usa en forma selectiva es decir, se le da preferencia a las estaciones que estén expuestas a los desvanecimientos severos.

Es de gran importancia realizar un estudio estadístico de las interrupciones de servicio causadas por desvanecimientos de radio, fallas del equipo y mantenimiento para diseñar el sistema de radio de microondas. Este estudio nos servirá para decidir acerca del tipo de sistema de diversidad y de conmutación de protección a usar dependiendo de nuestras necesidades.

Las técnicas de diversidad se utilizan para crear trayectos de redundancia en el haz radioeléctrico. La información es transmitida por trayectorias que no sufren los mismos desvanecimientos así se aumenta la probabilidad de que el radioenlace no sufra una interrupción en la recepción o recepción.

Como técnicas de diversidad pueden utilizarse aquellos modelos que permitan la transmisión en de forma independiente, como en distintas frecuencias, polarizaciones, ángulos, etc.

- *Diversidad de frecuencia:* consiste en modular dos radiofrecuencias distintas de portadora con la misma información de frecuencia intermedia y transmitir entonces ambas señales a un destino dado. En el destino se remodulan ambas portadoras y la que produzca la señal de frecuencia intermedia de mejor calidad es la que se selecciona. Los arreglos de diversidad de frecuencia constituyen una redundancia de equipo, completa y sencilla, y tienen la ventaja adicional de proporcionar dos trayectorias eléctricas del transmisor al receptor. Su desventaja es que duplica al espectro de frecuencia por lo que el equipo necesario también se duplica.

- *Diversidad espacial:* en la diversidad espacial, la salida de un transmisor se alimenta a dos o más antenas, físicamente separadas por una cantidad apreciable de longitudes de onda. De igual manera en el receptor puede haber más de una antena que proporcione la señal de entrada al receptor. Si se usan varias antenas receptora también deben estar separadas por una cantidad apreciable de longitudes de onda, es de gran importancia que la distancia eléctrica tanto de un transmisor como de un receptor a cada una de sus antenas sea un múltiplo igual de longitudes de onda, esto es para asegurar que cuando lleguen dos o más señales de la misma frecuencia a la entrada del receptor estén en fase y sean aditivas ya que si se reciben desfasadas se anularan y en consecuencia será menor la potencia de la señal recibida que si solo se usara una antena. Los arreglos de diversidad espacial proporcionan redundancia de ruta, pero no de equipo. La diversidad espacial es más costosa por las antenas y las guías de onda adicionales, pero a pesar de esto proporciona un uso eficiente del espectro de frecuencias y una protección mucho mayor que la diversidad de frecuencia.

- *Diversidad de polarización:* en este tipo de técnica de diversidad una sola portadora de radiofrecuencia se propaga con dos polarizaciones diferentes, verticales y horizontales. Las ondas electromagnéticas de distintas polarizaciones no necesariamente están sometidas a las mismas degradaciones de transmisión. Aquí, un par de antenas de transmisión y recepción polarizan en sentido vertical y en sentido horizontal respectivamente.

- *Diversidad híbrida*: es una forma especializada de diversidad que consiste en una trayectoria normal de diversidad de frecuencia, en la que dos pares del transmisor y el receptor en un extremo de la trayectoria están separados entre sí y conectados a distintas antenas, separadas verticalmente como en la diversidad espacial. El arreglo proporciona un efecto de diversidad espacial en ambas direcciones; en una porque los receptores están separados verticalmente y en la otra en forma horizontal. Su desventaja es que requiere de dos radiofrecuencias para obtener un radiocanal en funcionamiento.
- *Diversidad cuádruple*: es otra forma de diversidad híbrida y proporciona la transmisión más confiable; pero también la más costosa. La diversidad cuádruple es una combinación de diversidad de frecuencia, espacial, de polarización y de recepción en un solo sistema. Su desventaja es que necesita más equipo, por lo que es una carga económica.

En la recepción se cuenta con varias señales con la misma información que tratan de reconstruir la señal original.

4.5 CARACTERÍSTICAS DE LA ETAPA DE DEMODULACIÓN.

La modulación es el proceso de transmitir una señal de banda base, mediante el uso de una portadora de mayor frecuencia, para que la información pueda llegar más lejos. Por ejemplo, suponiendo que si queremos lanzar un papel con un mensaje, por si solo no llegara muy lejos, pero si lo envolvemos a una piedra y la lanzamos, esta llegara más lejos. La modulación es algo similar, el papel es la señal en banda base que contiene la información que queremos mandar y la piedra es la portadora que nos sirve para poder mandar la información a una distancia mayor con menos esfuerzo. Además una onda entre más alta sea su frecuencia es más fácil de poder radiar.

La modulación puede ser: modulación de amplitud (AM) y modulación de frecuencia (FM). En AM la frecuencia se mantiene constante y lo que varía con el tiempo es la amplitud, y en FM lo que varía es la frecuencia mientras que la amplitud se mantiene constante.

Una señal en banda base se puede representar mediante números binarios (conversión analógica a digital) lo que nos proporciona algunas ventajas y es que al modular por cualquier método estamos enviando dos señales, en este caso dos niveles de voltaje, si la señal durante su paso por el canal fue distorsionada por el ruido fácilmente podremos recuperar la información ya que aunque la señal este muy distorsionada o con ruido, solo nos ocuparemos en distinguir dos niveles de voltaje despreciando así los niveles intermedios y facilitando la recuperación de la información.

Una de las desventajas es que para mandar la información necesitamos mayor ancho de banda para enviar la información. Si queremos tener una señal digital muy parecida a la analógica se necesita incrementar el número de niveles de cuantización de la información, es decir, incrementar el número de bits que representan a nuestra señal analógica pero esto representa mayor tiempo y ancho de banda para enviar la información.

A continuación se presenta un caso de demodulación en cuadratura:

- Se utilizan dos portadoras una del tipo coseno y otra tipo seno para sumar dos señales moduladas en DSB-SC.
- A la entrada del filtro pasa bajas se obtienen por demodulación sincrónica las señales de información atenuadas un factor de $1/2$.
- Este proceso permite usar el mismo ancho de banda (en este caso frecuencias alrededor de la frecuencia de la portadora) para transmitir 2 señales sin distorsión.

Para simular este proceso es necesario construir el siguiente sistema que implica modulación y demodulación en cuadratura y se muestra en la figura 4.3.

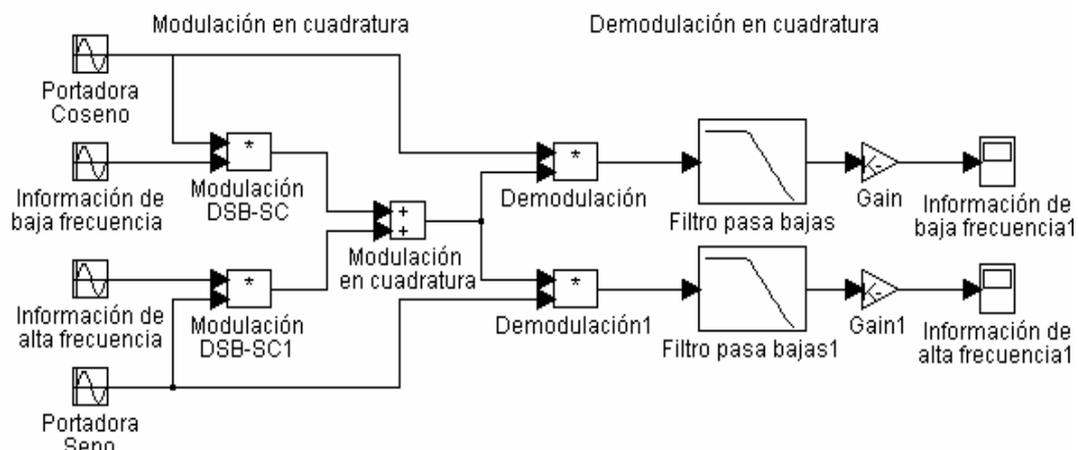


Figura 4.3 Sistema de transmisión que maneja la modulación y demodulación en cuadratura

Donde la señal de información de baja frecuencia tiene amplitud 1 y frecuencia 2rad/s . La señal de información de alta frecuencia tiene amplitud 1 y frecuencia 8rad/s . Las portadoras tienen amplitud 1 y frecuencia de 20rad/s pero están desfasadas 90° .

Los filtros pasa bajas tiene sus frecuencias de corte respectivamente igual a la frecuencia de las portadoras. Las dos ganancias son iguales a 2.75.

La salida de la modulación en cuadratura se ilustra a continuación en la figura 4.4.

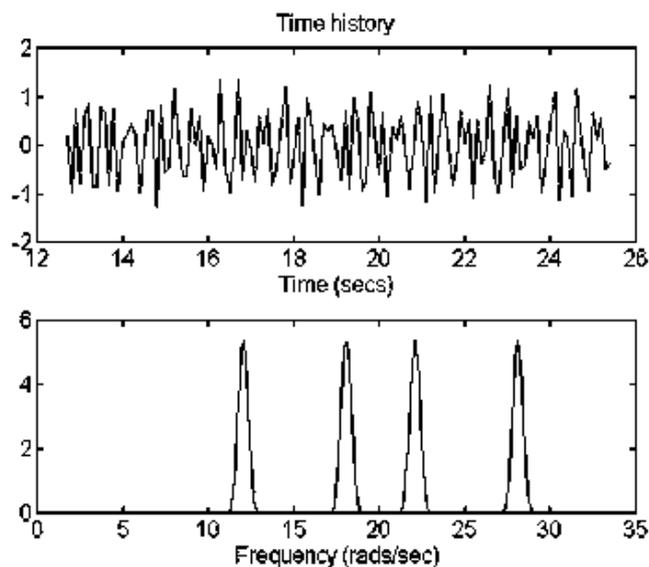


Figura 4.4 Salida de la modulación en cuadratura

En el dominio de la frecuencia se observa cuatro armónicos alrededor de los 20rad/s (la frecuencia de las portadoras). Los dos armónicos más cercanos a 20rad/s corresponden a la señal de información de baja frecuencia mientras los otros dos pertenecen a la señal de información de alta frecuencia. La salida de la primera demodulación se ilustra a continuación en la figura 4.5.

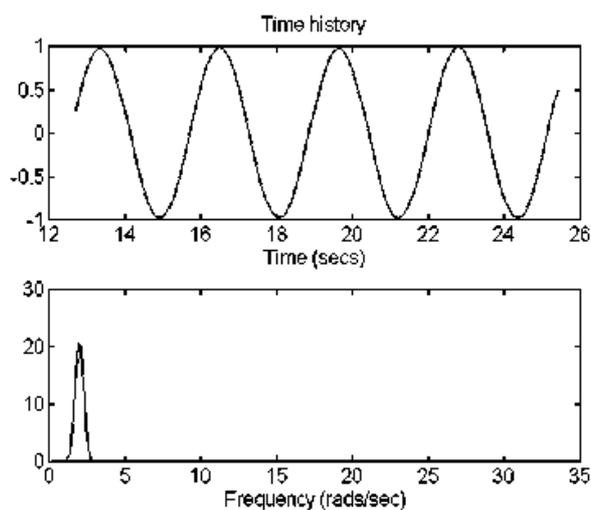


Figura 4.5 Salida de la primera demodulación en cuadratura.

Se obtiene una señal sinusoidal de amplitud 1 y frecuencia 2rad/s . Esta es la señal de información de baja frecuencia. La salida de la segunda demodulación se muestra en la figura 4.6.

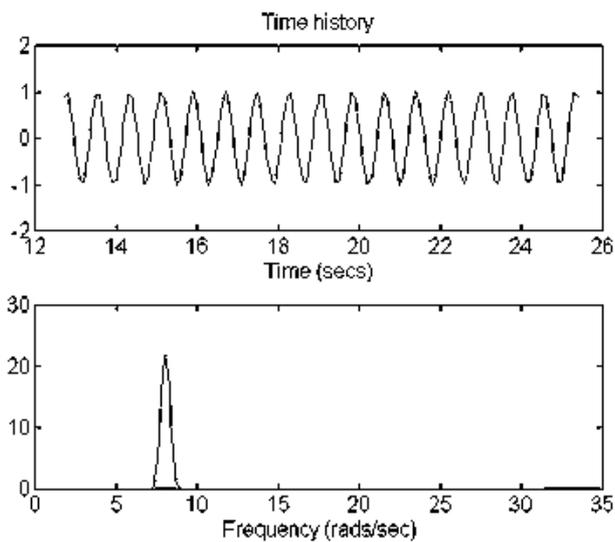


Figura 4.6 Salida de la segunda demodulación en cuadratura.

Se obtiene una señal sinusoidal de amplitud 1 y de frecuencia 8rad/s . Esta es la señal de información de alta frecuencia.

4.6 PÉRDIDAS EN LA TRANSMISIÓN.

En los vanos de los radioenlaces terrestres deben darse condiciones de visibilidad directa, todo ello teniendo en cuenta la curvatura de la Tierra. Si por cualquier circunstancia varía el índice de refracción de la atmósfera la altura aparente de la Tierra puede cambiar de tal forma que no se cumplan las condiciones de despojamiento necesarias para la propagación en espacio libre debiendo tener en cuenta este factor al momento de diseñar el enlace radioeléctrico ya que puede provocar una difracción en el haz que cause un desvanecimiento de la señal recibida en el otro extremo.

Estas condiciones deben tomarse en cuenta al calcular las alturas que deben de tener las antenas ya que esto puede provocar un gasto innecesario debido a su longitud adicional.

En condiciones normales de propagación teniendo en cuenta las zonas de Fresnel necesarias se suponen condiciones de espacio libre aunque aparecen otros factores que pueden provocar desvanecimientos en el enlace.

En cada vano del radioenlace podemos calcular las pérdidas básicas de propagación por medio de la ecuación 4.24 que se muestra a continuación:

$$L_b = L_{bf} + L_{di} + L_d + L_a + L_p + L_g \quad 4.24$$

donde: L_{bf} = pérdida de propagación en espacio libre.

L_{di} = pérdida por difracción.

L_d = pérdida por desvanecimiento.

L_a = pérdida por errores en el apuntamiento.

L_p = pérdida ocasionada por la lluvia, nieve, etc.

L_g = pérdida debida a la absorción de gases y vapores atmosféricos.

Estas componentes afectan de forma muy directa a la disponibilidad del radioenlace por lo que debe preverse su aparición, y por tanto las medidas necesarias para corregir sus efectos. En el proceso de diseño de un radioenlace, y en cada vano de manera particular, se siguen unas reglas para determinar las condiciones que se pueden encontrar y así disponer de los equipos que hagan posible su funcionamiento, en la figura 4.7 se muestra como se salva un obstáculo. Las reglas a seguir son las siguientes:

- Estudio de la geometría del perfil y emplazamiento de las antenas.
- Estudio de las pérdidas por desvanecimiento del factor k , por gases y vapores atmosféricos.
- Cálculo de la atenuación por lluvia.
- Estudio de la despolarización.
- Estudio del desvanecimiento multitrayecto.
- Protección contra desvanecimiento multitrayecto; técnicas de diversidad.

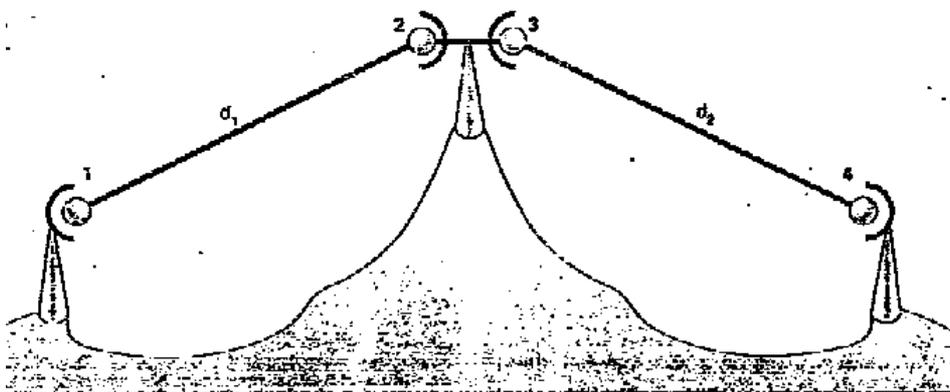


Figura 4.7 Salvando un obstáculo para la transmisión.

El cálculo de la posición de las antenas se refiere a la altura sobre el suelo a la que deben colocarse. La altura debe ser la mínima posible y debe de existir la seguridad de que no se pierda la visibilidad del haz radioeléctrico cuando se den condiciones de propagación que produzcan fenómenos de difracción o desvanecimientos.

No obstante el cálculo de la altura de las antenas se realiza teniendo en cuenta la posibilidad de que se produzcan interrupciones si estas son de corta duración utilizándose funciones estadísticas del factor k .

La UIT-R recomienda seguir los siguientes pasos en el cálculo de las alturas de las antenas:

1. Las alturas de las antenas se determinan para un valor medio de k en ese trayecto (normalmente se supone $k = 4/3$).
2. Después se calcula el valor efectivo de k para un 99.9% del tiempo en el mes más desfavorable, mediante curvas normalizadas.
3. Por último se realiza un nuevo cálculo de las alturas de las antenas.

CAPÍTULO 5

5. COMPARATIVA DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VÍA MICROONDAS CONTRA SISTEMAS DE COMUNICACIONES VÍA CABLE

5.1 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y MANTENIMIENTO.

Existen dos tipos de mantenimiento que se aplican a los sistemas de comunicaciones vía microondas; el preventivo y el correctivo.

El mantenimiento preventivo se realiza para evitar que la transmisión o la recepción sean de una menor calidad a la esperada; este se lleva a cabo por medio de pruebas de transmisión para determinar el estado del radioenlace. El mantenimiento correctivo se genera cuando el equipo por algún tipo de falla afecta al mismo y se ve interrumpido el enlace hasta que el equipo vuelve a funcionar. Este tipo de interrupciones pueden ser temporales o en algunos casos definitivas.

A continuación se mencionará como es que se realiza el mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de radioenlaces vía microondas. Los pasos que a continuación se mencionan se muestran en el cuadro 5.1.

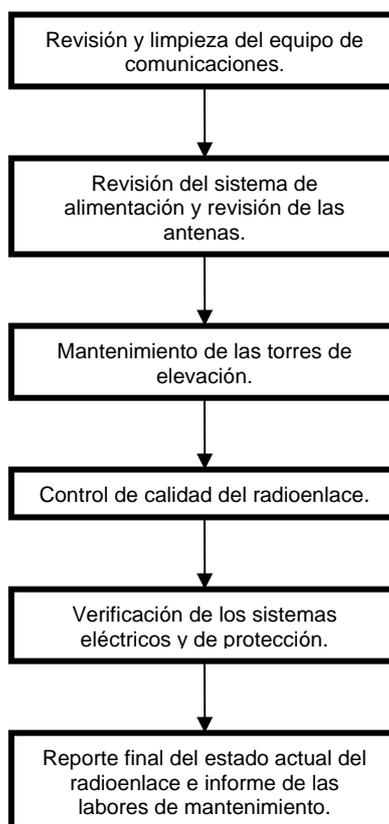
:

- El primer paso consiste en una revisión y limpieza del equipo de comunicaciones inalámbrico en el que se desmonta de su estación para que sea abierto; una vez abierto se desmonta el interior que contiene las partes y circuitos que forman al equipo para una limpieza con aire comprimido para quitar el polvo y partículas que ensucien o provoquen estática. Una vez realizada esta tarea se lleva a cabo una revisión del software de comunicación y se certifica su funcionamiento. Al terminar la limpieza física del equipo se reconecta y nuevamente se pone en funcionamiento.

- En el segundo paso el personal técnico de mantenimiento se enfoca en el sistema de alimentación y en las antenas del sistema. En este paso el procedimiento que se sigue es el siguiente: se desmontan las antenas, la principal y la remota, y la guía de onda. Se limpian los dipolos y los contactos para aplicarles spray anticorrosivo. A los conectores se les revisa su aislamiento eléctrico y son sellados con cinta vulcanizada. Los cables coaxiales son limpiados y protegidos con silicona. Finalmente, se reinstalan y alinean las antenas.
- En el tercer paso toca el turno a las torres de elevación; primeramente se hace una revisión general del estado de la torre, de ser necesario se cambian los templadores galvanizados y los pernos sujetadores para una fijación y nivelación vertical de la torre. Los módulos son limpiados y lijados para tener un tratamiento anticorrosivo que consiste en una base de pintura anticorrosiva y una capa de pintura final en colores rojo y blanco.
- El cuarto paso consiste en un control de calidad del radioenlace esto es con pruebas de la señal de radiofrecuencia. Para estas pruebas necesitaremos un alineamiento óptimo de las antenas para llevar a cabo la transmisión y recepción de datos de prueba de la cual se deriva la medición de los tiempos de respuesta en línea para la conexión del sistema.
- El quinto paso consiste en una verificación de los sistemas eléctricos y de protección así como de los cables de red. Esto es con el fin de que al momento de hacer el diagnóstico de los componentes por medio de pruebas de continuidad sea más fácil la localización de fallas al verificar las conexiones de red e interfaces.
- Finalmente el sexto paso consta de un reporte en que se especifica la ubicación y distribución de cada uno de los equipos así como un inventario de las partes y piezas de cada uno de los mismos. El reporte debe de contener una descripción del estado de los componentes internos y externos de los equipos, antes y después del mantenimiento, y las labores de mantenimiento realizadas a cada equipo

El mantenimiento del equipo se realiza con los siguientes materiales:

- Spray anticorrosivo.
- Aire comprimido.
- Cinta vulcanizada.
- Silicón.
- Pintura anticorrosiva.
- Herramienta adecuada (desarmadores, pinzas, llaves Allen, etc.).



Cuadro 5.1 Pasos que se realizan para llevar a cabo el mantenimiento preventivo y correctivo de un sistema de comunicaciones vía microondas.

El mantenimiento preventivo es llevado a cabo en periodos trimestrales o anuales dependiendo de la parte del sistema a la que se le esté dando el mantenimiento, además de que se deberá presentar un reporte en el que se indique el estado en que fue encontrado el equipo y como se encuentra después de su mantenimiento.

El mantenimiento correctivo se presenta cuando alguna parte del sistema definitivamente deja de funcionar por alguna falla que afecte de forma inmediata al radioenlace por ejemplo, si se llegara a quemar alguna tarjeta o parte del equipo ya sea en la transmisión o en la recepción, en la mayoría de estos casos es necesario reemplazar la parte del equipo afectada ya que los circuitos se encuentran encapsulados debido a los derechos de autor que los protegen para evitar duplicidad en los diseños de los mismos.

En estos casos es necesario elaborar un reporte que contenga: el estado en el que se encontró el equipo, la falla que presenta, su solución y el estado final después de su reparación

Al llevarse a cabo el mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, el sistema no puede dejar de transmitir por lo que es necesario que entren en funcionamiento los canales de reserva para que siga transmitiendo el sistema hasta que termine el mantenimiento del equipo.

5.2 TÉCNICAS DE PROTECCIÓN Y EQUIPOS DE RESERVA.

Las técnicas de protección hacen posible que el radioenlace pueda estar en condiciones de funcionamiento el mayor tiempo posible. Se deben cumplir las expectativas de funcionamiento y evitar en lo posible que los fallos y averías afecten al servicio proporcionado por el radioenlace. La protección de los equipos se realiza mediante sistemas de redundancia que aseguran la continuidad en la recepción de la señal. Los métodos de protección pueden clasificarse como *conmutación de protección* que se aplica en el caso de fallos o averías de los equipos; y *de diversidad* que se emplea para amortiguar los efectos de los desvanecimientos.

Cuando se habla de equipos *de reserva* y de equipos *con diversidad* no significa lo mismo. Generalmente cuando se dispone de equipos de reserva, se está refiriendo a sistemas redundantes que entran en funcionamiento en caso de fallo del sistema principal tanto en transmisión como en recepción. Sin embargo en equipo con diversidad se hace referencia al empleo de la redundancia únicamente en recepción. Como suele ser poco probable el fallo simultáneo de dos o más equipos, se dispone de un equipo redundante para el establecimiento de un radiocanal de reserva que se comparte entre los radiocanales activos, resultando un sistema de protección.

En caso de fallo o desvanecimiento el sistema de conmutación conecta el radiocanal de reserva relevando al radiocanal principal mediante las órdenes enviadas desde el sistema de supervisión y control. La existencia de canales de reserva no implica que se estén utilizando técnicas de diversidad ya que la conmutación se realiza en transmisión.

Existen combinaciones para proteger la transmisión del radioenlace. Si se utilizan sistemas sin diversidad, existe la alternativa de disponer de reserva o no. Cuando se utilizan equipos sin diversidad y sin reserva solo son necesarios el transmisor y el receptor no existiendo ningún tipo de protección por lo que si ocurre un fallo se suspendería el servicio. Si se utilizan equipos de reserva serían necesarios dos transmisores y dos receptores trabajando a la misma frecuencia y un sistema de conmutación.

Los receptores se encontrarían funcionando conjuntamente realizándose la conmutación en los transmisores: a esta configuración se le denomina *isofrecuencia con reserva activa* y se muestra en la figura 5.1.

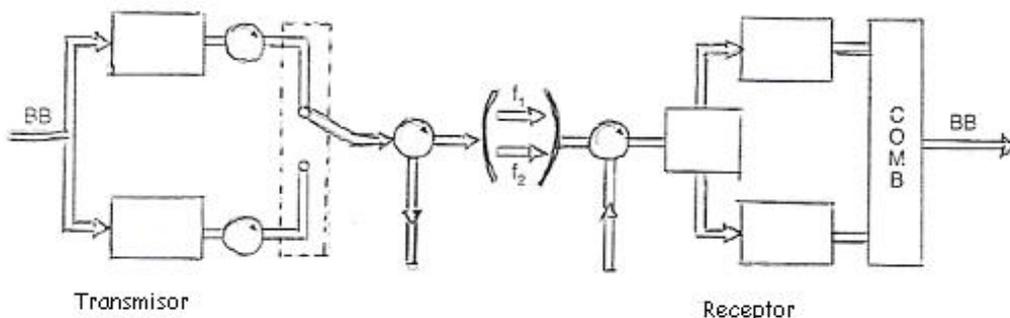


Fig. 5.1 Isofrecuencia con reserva activa.

En esquemas con diversidad podemos distinguir tres alternativas: sin equipos de reserva, con equipos de reserva y diversidad mixta. Los equipos con diversidad y sin reserva utilizan diversidad de espacio. Se necesitan un transmisor y dos receptores combinando la salida de estos para obtener la señal. En estas configuraciones se logra una mejora en la relación señal a ruido. Los dos receptores trabajan a la misma frecuencia, por lo que se les llama *isofrecuencia con dos antenas*, un ejemplo se muestra en la figura 5.2.

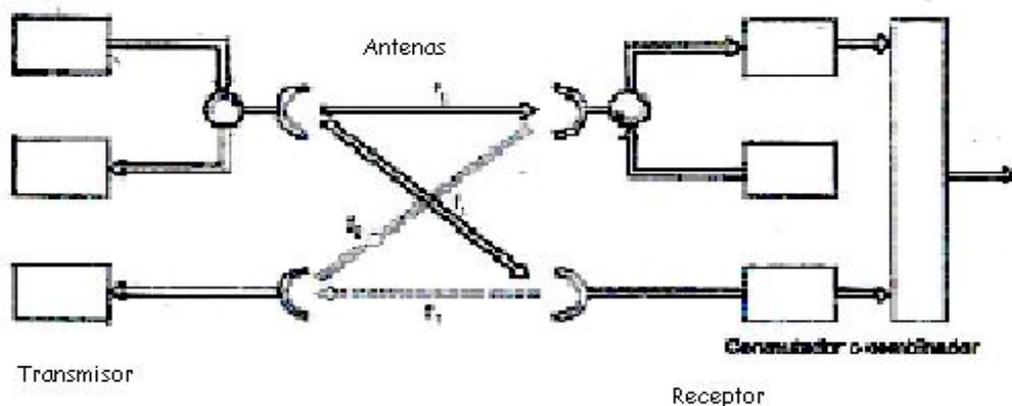


Figura 5.2 Isofrecuencia con dos antenas.

Si se opta por utilizar diversidad más reserva, sería necesario utilizar dos transmisores y dos receptores. En este esquema se utilizarían dos frecuencias diferentes, una para cada par transmisor-receptor; la señal se recupera por conmutación o combinación en recepción. Tanto como en transmisión como en recepción se utiliza una sola antena para los dos bloques de equipos por lo que se denomina a esta configuración *heterofrecuencia con una antena*, podemos ver un ejemplo en la figura 5.3.

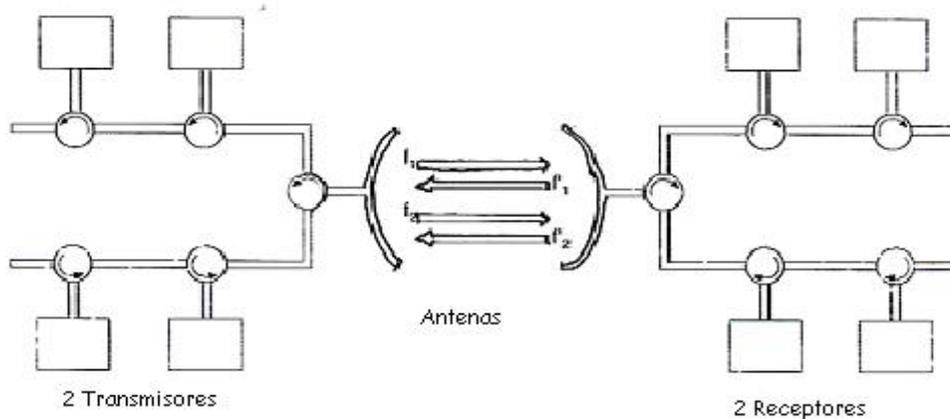


Figura 5.3 Heterofrecuencia con una antena.

Una tercera alternativa es la diversidad mixta que consiste en una combinación de diversidad de espacio y frecuencia utilizando dos transmisores y dos receptores. Los transmisores utilizan la misma antena mientras que en recepción se utiliza una antena para cada receptor. A esta configuración se le denomina *heterofrecuencia con dos antenas* y se observa en la figura 5.4.

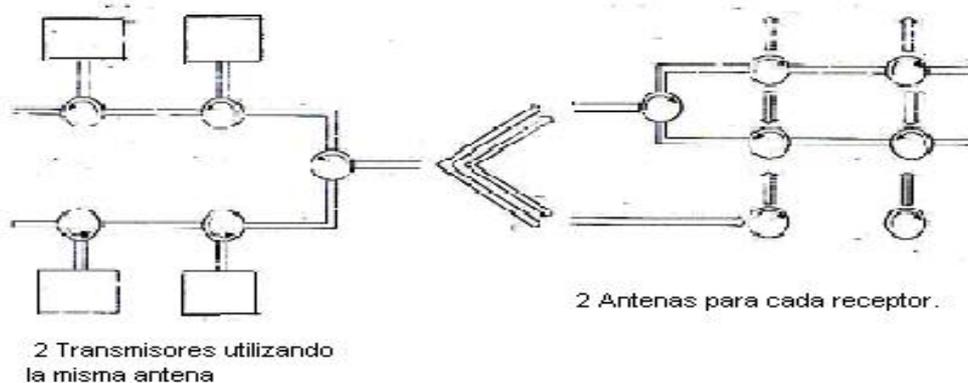


Figura 5.4 Heterofrecuencia con dos antenas.

Cuando aparecen condiciones que degradan la señal a un nivel suficiente entran los elementos de conmutación encargando la continuidad de las comunicaciones a los radiocanales de reserva. Cuando las causas que originaron la conmutación a los equipos de reserva desaparecen, el equipo vuelve a conmutar al equipo principal liberando los recursos del equipo de reserva reestableciendo el modo normal de operación. La protección del sistema engloba a varios vanos con sus estaciones repetidoras.

Los sistemas de conmutación de protección pueden clasificarse según la interfaz donde se efectúa la conmutación. Puede ser:

- En banda base (BB-BB).
- En frecuencia intermedia (FI-FI).
- Mixtos (BB-FI).

Tanto en los sistemas en banda base como en los mixtos están incluidos los moduladores y demoduladores de señal.

Los sistemas de protección tienen definidos unos niveles de calidad que deben encargarse de cumplir constantemente; cuando no se superan los niveles la conmutación se lleva a cabo. Para que este proceso funcione de forma adecuada se debe establecer la secuencia de conmutación y disponer a su vez de información del estado de ejecución para comprobar que la operación se ha realizado correctamente, además deben de estar previstos otros mecanismos que permitan el regreso al canal principal cuando las causas que provocaron la conmutación a los equipos de reserva hayan desaparecido.

La conmutación afectará únicamente al segmento afectado por la degradación de la señal dejando al resto del sistema trabajando normalmente.

En radioenlaces analógicos los parámetros de referencia para la conmutación pueden ser el nivel de potencia de una señal piloto, la potencia de ruido presente alrededor de la banda de trabajo y el nivel de potencia en recepción de la portadora. Estos umbrales son ajustables dependiendo del momento y servicio proporcionado por el radioenlace y de sus requisitos de calidad.

En radioenlaces digitales los parámetros de referencia para la conmutación son la tasa de error de bit y el alineamiento o sincronización de las tramas de datos. Si estos parámetros se degradan durante un tiempo suficientemente largo los equipos de control conmutan al radiocanal de reserva.

Estas incidencias se comunican al personal de mantenimiento indicando el equipo afectado y su duración. Si la degradación dura poco tiempo se activa una alarma indicando la incidencia. Estas alarmas se transmiten al centro de control utilizando los canales de servicio del radioenlace. Si la degradación es duradera entonces se produce la conmutación que se realiza en banda base por lo que permite proteger todo el radiocanal.

Dependiendo de la gravedad del fallo la duración de la conmutación varía, por ejemplo, si se encuentra una avería en los equipos causara que la conmutación tome más tiempo y pueda verse afectada la calidad de la señal sin embargo cuando ocurren desvanecimientos se diseñan los equipos para que la conmutación se lleve a cabo en el menor tiempo posible sin interrumpir la transmisión.

En transmisiones digitales se deben prever mecanismos que recuperen el sincronismo de la trama de datos ante saltos debidos a la conmutación.

5.3 COSTOS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN. COMPARATIVAS CONTRA SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ALÁMBRICOS.

A continuación se presentan los costos del equipo para una transmisión por radiofrecuencia. Primeramente el costo de las unidades transmisoras y receptoras. Para este caso se han elegido un transmisor compuesto STL-15C y un receptor compuesto R-15C; ambos fabricados por la compañía *MARTI Electronics* con sede en Cleburne Texas, Estados Unidos.

El STL-15C y el R15-C conforman un enlace de radiocomunicaciones de frecuencia sintetizada de alta calidad. Estos sistemas ofrecen trabajar en bandas de frecuencias de 140 MHz a 960 MHz y dependiendo del ancho de banda del canal disponible los sistemas pueden transmitir:

- Frecuencia modulada estereofónica compuesta por dos subportadoras,
- Audiofrecuencia monofónica con dos subportadoras, y
- Audiofrecuencia estereofónica digital (para esta se requiere de módems externos).

El costo del equipo para un enlace vía microondas se muestra a continuación.

- Unidades de transmisión y recepción, su costo va de los \$3'200.00 a los \$4'000.00 dólares (\$34'000.00 a \$42'000.00 pesos aprox.) cada una.
- La antena a utilizar es de 800-960 MHz y tiene una ganancia de 20 dB, con un costo de \$825.00 dólares (\$8'800.00 pesos aprox.).
- Un duplexor que combina el transmisor y al receptor a una antena y línea común su costo es de \$1'335.00 dólares (\$14'250.00 pesos aprox.).
- Selector de receptor STL automático \$660.00 dólares (\$7'000.00 pesos aprox.).

- Selector de transmisor automático \$760.00 dólares (\$8'100.00 pesos aprox.).
- Cordón de alimentación de 120 V \$6.00 dólares (\$64.00 pesos aprox.).
- Cordón de alimentación de 220 V \$18.00 dólares (\$192.00 pesos aprox.)

La garantía para el equipo de transmisión y el de recepción son 2 años; para el duplexor y los selectores es un año a partir de la fecha de compra. Ésta garantía aplica por defectos de fabricación y no es válida por un mal manejo e instalación del equipo hecha por personal ajeno a la compañía distribuidora.

El mantenimiento es proporcionado al sistema de radiocomunicación en periodos que van de los 3 meses a un año a partir de la fecha de instalación para un obtener un mejor funcionamiento del mismo sistema. Cabe mencionar que el mantenimiento no es de un costo mayor a diferencia del costo del equipo cuando es nuevo.

El mantenimiento en cuanto a costo es alto si nuestro enlace es de muy poca distancia por ejemplo 3 Km., además de que seria mucho el gasto para una distancia tan pequeña tanto para la compra del equipo como para su mantenimiento en una distancia tan corta como lo son 3 Km., en estos casos son más convenientes los enlaces vía cable ya sea a través de un cable metálico o por medio de una fibra óptica.

Los radioenlaces son más convenientes cuando se desean establecer comunicaciones a grandes distancias.

Cabe mencionar que además para hacer uso del espectro electromagnético y comenzar una transmisión vía microondas es necesario hacer una solicitud de transmisión al organismo regulador correspondiente.

En este caso el organismo regulador de México es COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) para llegar un acuerdo económico y de transmisión para hacer uso de una parte del espectro electromagnético ya sea en amplitud modulada (AM) o en frecuencia modulada (FM).

A continuación se presentan las comparativas entre un sistema de comunicaciones vía microondas y los sistemas de comunicación alámbricos como lo son la fibra óptica y el cable coaxial.

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA CABLE DE FIBRA ÓPTICA.

A continuación se verá el costo de un sistema de transmisión vía cable de fibra óptica. Para la instalación de un enlace por medio de fibra óptica es necesario el siguiente equipo y material:

- Unidad transmisora \$4'000.00 dólares (\$ 42'600.00 pesos aprox.).
- Unidad receptora \$4'500.00 dólares (\$48'000.00 pesos aprox.).
- Unidad repetidora \$3'500.00 dólares (\$38'000.00 pesos aprox.).
- Cable de fibra óptica, dependiendo de su calibre, cuesta entre los \$4.00 y \$6.00 dólares por metro.
- Kit de fibra óptica económico cuesta \$220.00 dólares (\$2'400.00 pesos aprox.).
- Kit anaeróbico básico cuesta \$440.00 dólares (\$4'700.00 pesos aprox.).
- Kit epóxico \$960.00 dólares (\$10'300.00 pesos aprox.).
- Equipo de medición ópticos multimodo o monomodo de \$3'000.00 a \$5'000.00 dólares.
- Atenuadores de \$3'500.00 a \$4'000.00 dólares (\$37'000.00 a \$42'000.00 pesos aprox.).
- Detectores de tráfico de \$1'500.00 a \$2'000.00 dólares (\$16'000.00 a \$22'000.00 pesos aprox.).

- Medidores de potencia de \$7'000.00 dólares (\$75'000.00 pesos aprox.).
- Localizadores visuales de fallas de \$150.00 a \$300.00 dólares (\$1'600.00 a \$3'200.00 pesos aprox.).
- Medidores de pérdidas de retorno de \$2'500.00 a \$5'000.00 dólares (\$27'000.00 a \$54'000.00 pesos aprox.).
- Empalmadoras \$7'500.00 dólares (\$80'000.00 pesos aprox.).

En el cuadro 5.2 en base a los precios mostrados anteriormente se realiza una comparativa de las ventajas económicas entre un sistema de comunicaciones vía microondas y un sistema vía cable de fibra óptica.

Concepto	Vía microondas.	Vía cable de fibra óptica.
<i>Costo del medio o canal de transmisión.</i>	No hay un costo por el medio de transmisión. Se paga por la frecuencia del espectro electromagnético al organismo regulador correspondiente.	Depende de la longitud del enlace, el metro de fibra óptica más económico cuesta \$4.00 dólares, por lo que puede llegar a ser muy elevado si la distancia del enlace es muy grande.
<i>Costo del equipo de transmisión y equipo de recepción.</i>	Varía entre los \$4'000.00 y \$5'000.00 dólares.	Son muy similares los costos.
<i>Costo o renta de los lugares donde se instalaran los repetidores.</i>	De un costo medio ya que se puede adquirir el terreno donde se instalaran los repetidores.	El costo en caso de ser una red muy pequeña es mínimo, pero si fuese un enlace donde la distancia es muy grande el costo se eleva en demasía
<i>Costo del equipo para su mantenimiento preventivo y correctivo.</i>	Presenta un costo bajo, lo que marca diferencia es la cantidad de veces al año en que se le da mantenimiento a estos sistemas de comunicación.	Comparado con el equipo de mantenimiento de un sistema vía radio es muy elevado, ya que todo el equipo y los materiales son cotizados en dólares.

Cuadro 5.2 Comparativa económica entre enlaces vía radio y vía cable de fibra óptica.

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA CABLE COAXIAL.

A continuación se verá el costo de un sistema de transmisión vía cable coaxial. Para la instalación de un enlace por medio de cable coaxial es necesario el siguiente equipo y material:

- Unidad transmisora \$2'500.00 dólares (\$27'000.00 pesos aprox.).
- Unidad receptora \$3'000.00 dólares (\$32'000.000 pesos aprox.).
- Unidad repetidora \$3'000.00 dólares (\$32'000.00 pesos aprox.).
- La longitud de cable depende de la longitud del enlace, el precio es de aproximadamente \$3.00 dólares el metro.
- Oscilador \$3'150.00 dólares (\$34'000.00 pesos aprox.).
- Sistema modulador \$5'100.00 dólares (\$55'000.00 pesos aprox.).
- La cantidad de conectores BNC depende de la longitud del enlace, su precio por unidad varia entre el \$1.50 dólares y \$2.00 dólares.
- Kit para instalación \$800.00 dólares (\$9'000.00 pesos aprox.).

En el cuadro 5.3 con base a los precios mostrados anteriormente se realiza una comparativa de las ventajas económicas entre un sistema de comunicaciones vía radiofrecuencia y un sistema vía cable coaxial.

Concepto	Vía microondas.	Vía cable coaxial.
<i>Costo del medio o canal de transmisión.</i>	No hay un costo por el medio de transmisión, Se paga por la frecuencia del espectro electromagnético al organismo regulador correspondiente.	Alto y depende de la distancia entre transmisor, repetidores y receptor.
<i>Costo del equipo de transmisión y equipo de recepción.</i>	Varía entre los \$4'000.00 y \$5'000.00 dólares.	Su precio es poco menor.
<i>Costo o renta de los lugares donde se instalaran los repetidores.</i>	De un costo medio ya que se puede adquirir el terreno donde se instalaran los repetidores.	El costo en caso de ser una red muy pequeña es mínimo, pero si fuese un enlace donde la distancia es muy grande el costo de instalación se elevaría de manera considerable.
<i>Costo del equipo para su mantenimiento preventivo y correctivo.</i>	De costo relativamente bajo, lo que marca diferencia es la cantidad de veces al año en que se le da mantenimiento a estos sistemas de comunicación.	Presenta un costo bajo comparado con el equipo y materiales para el mantenimiento de enlaces vía microondas.

Cuadro 5.3 Comparativa económica entre enlaces vía radio y vía cable coaxial.

La ventaja clara de los sistemas de comunicación por medio de enlaces vía microondas sobre los sistemas de comunicación alámbricos, como lo son el cable coaxial y la fibra óptica, es la reducción de los costos de infraestructura además del pequeño margen de tiempo necesario para su funcionamiento, puesto que en el momento en que se dispone de la antena se llega inmediatamente a miles de usuarios.

5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS QUE PRESENTAN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN VIA MICROONDAS CON RESPECTO A LOS SISTEMAS DE TRANSMISION VIA CABLE.

Comparando a los sistemas de comunicaciones vía microondas con respecto a los sistemas de comunicación alámbricos como lo pueden ser el cable coaxial y la fibra óptica se encuentra lo siguiente:

Todos los sistemas de radiocomunicación, entre los que se incluyen los enlaces vía microondas, emplean el espacio como medio de transmisión. La información viaja en forma de ondas electromagnéticas no guiadas desde el trasmisor hasta el receptor, como se muestra en la figura 5.5.

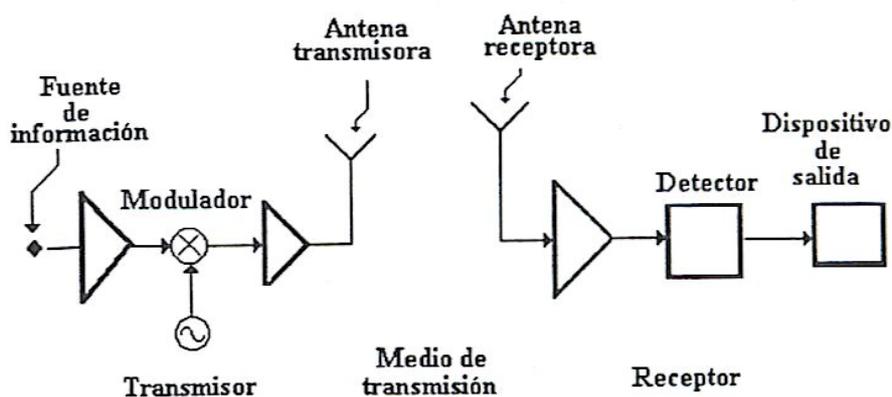


Fig. 5.5 Sistema de radiocomunicación.

El hecho de que los sistemas de radiocomunicaciones no empleen un medio físico para la transferencia de energía desde el transmisor al receptor, hace que éstos posean una serie de características particulares y que en ciertas aplicaciones son insustituibles a diferencia de medios de transmisión alámbricos. Las ventajas y limitaciones que tienen son:

Ventajas:

- Facilidad de comunicaciones móviles.
- Facilidad de reconfiguración.
- Facilidad de comunicaciones multipunto.
- Facilidad de establecer enlaces en áreas de difícil acceso o sin infraestructura.
- Económicos.
- Menor tiempo de instalación.

Limitantes.

- Susceptibilidad a interferencias electromagnéticas.
- Espectro electromagnético limitado.
- Escasa privacidad.
- Dependencia de las condiciones ambientales.

Los sistemas de comunicación por cable metálico necesitan de un medio físico como canal de transmisión, y que éste deba ser un conductor de electricidad. Esta propiedad le da una serie de características a estos sistemas.

En la figura 5.6 se muestra un diagrama de bloques de un enlace punto a punto de un sistema de comunicaciones que emplea como medio de transmisión conductores eléctricos como lo son el par de alambre, el cable coaxial y las guías de onda.

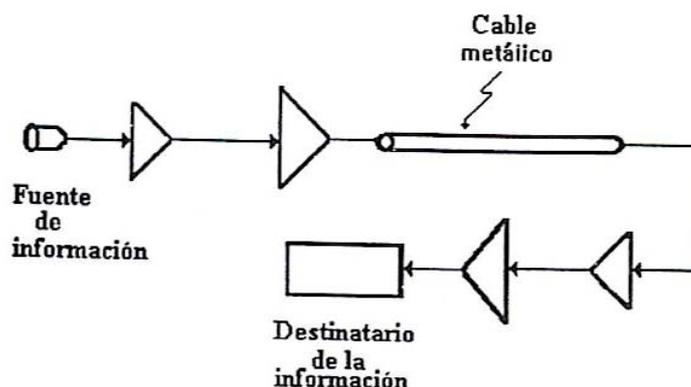


Fig. 5.6 Sistema de comunicaciones alámbrico, enlace punto a punto.

De los conductores mencionados anteriormente toca el turno del cable coaxial. Éste es simplemente una línea de transmisión que consta de un par sin balancear, formado por un conductor interno que está rodeado por un conductor externo a tierra, el cual mantiene su configuración concéntrica mediante un dieléctrico. El dieléctrico puede ser de diferentes tipos: sólido (polietileno o cloruro de polivinilo), espuma, aire o gas.

Se han diseñado sistemas para usar cable coaxial como medio de transmisión, su capacidad de transmisión está en el rango de 120 a 10,800 canales de voz. Los sistemas de antena comunal de televisión (CATV) usan un solo cable coaxial para anchos de banda de transmisión en el orden de los 300 MHz. El cable coaxial, que se muestra en la figura 5.7, en conjunto con los conectores BNC de la figura 5.8, es el medio por el cual se realiza una transmisión alámbrica para la que se deben considerar las siguientes recomendaciones para que su aplicación sea adecuada:

- En áreas con alta densidad de alta interferencia de radiofrecuencia de microondas (se incluyen radioenlaces).
- Sobre rutas de alta densidad en las que el cable es menos costoso que los radioenlaces.



Fig. 5.7 Cable Coaxial.

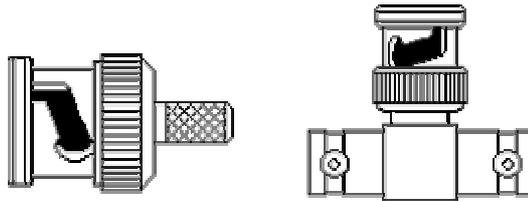


Fig. 5.8 Conectores para Cable Coaxial.

El hecho de que estos sistemas empleen un medio físico que es el conductor de electricidad le da una serie de características particulares. Las más sobresalientes son:

- El medio de transmisión tiene un valor económico.
- Se emplea tiempo para la instalación, o tendido del medio.
- Tiene una menor facilidad de reconfigurar el sistema.
- Proporciona una comunicación móvil pero sólo en pequeñas áreas.
- Existe mucha dificultad de comunicación punto-multipunto.
- Registra una menor susceptibilidad a interferencias electromagnéticas.
- Tienen la facilidad de conducir energía eléctrica.
- No se pueden emplear en medios corrosivos.

- Presenta problemas de diafonía.
- No existen límites físicos a la capacidad de transportar información.
- Tiene una mayor privacidad.
- Tienen una mayor sensibilidad al medio ambiente.

Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica emplean también un medio físico dieléctrico como canal de transmisión. En este tipo de sistemas la información viaja en forma de rayos de luz, es decir ondas electromagnéticas guiadas. La única diferencia con las ondas electromagnéticas de radio es la frecuencia de operación.

Como en los sistemas de radiocomunicación estos sistemas requieren de transductores para el acondicionamiento de la señal útil para su transmisión y recepción. En el transmisor se requiere de un transductor de ondas de voltaje y corriente en ondas luminosas mientras que en el receptor se requiere de un transductor de ondas luminosas en ondas de voltaje y corriente.

En la figura 5.9 se muestra un enlace punto a punto por fibra óptica donde se incluyen los elementos básicos:

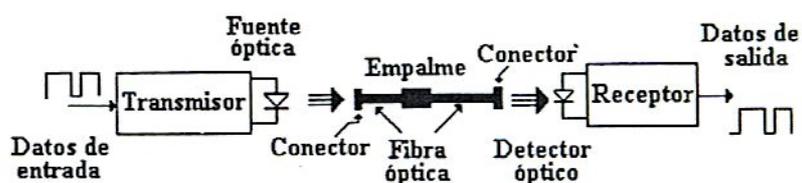


Fig. 5.9 sistema de comunicaciones vía fibra óptica, enlace punto a punto.

Algunas de sus características son:

- Alta privacidad de la transmisión.
- Sensibilidad limitada por el ruido.
- Muestra pequeños niveles de potencia eléctrica en el transmisor.
- Facilidad de movimiento en áreas reducidas.
- Se le encuentra una pequeña interferencia entre fibras.
- Tiene un cableado de muchas fibras en un solo ducto.

Sus desventajas son:

- Para el establecimiento de este tipo de comunicación se requiere de un medio físico.
- Mayor dificultad en comunicaciones multipunto.
- Las fuentes ópticas son relativamente de alta no linealidad.

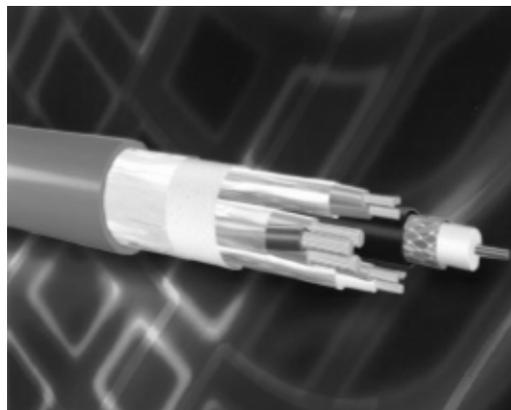


Fig. 5.10 Cable de Fibra Óptica.

La introducción de la fibra óptica en las comunicaciones ha permitido, como la que se muestra en la figura 5.10, que existan medios de transmisión de un gran ancho de banda para el soporte de servicios de banda ancha tanto actuales como futuros.

Con mayor ancho de banda los operadores disponen de mayor espectro para ofrecer servicios que generen beneficio. El ancho de banda de la red de fibra óptica es la clave en la que se fundamentan las ventajas de este tipo de redes entre las que se incluyen:

- Posibilidad de ofrecer una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales.
- Soporte de servicios conmutados y de difusión.
- Capacidad de adaptación dinámica a los cambios de la demanda y del mercado, debida, en gran parte, a la gran flexibilidad y modularidad de que están dotadas este tipo de redes.

Ahora bien, hablando en términos económicos la instalación de una red de comunicaciones de fibra óptica es más elevada que una red de comunicaciones vía microondas y que una de cable coaxial para grandes distancias, ya se está utilizando un medio que es muy elevado en su costo. Las velocidades de transmisión de datos que dependen de diversos factores como por ejemplo:

- Longitud de la línea de Cobre.
- El calibre/diámetro del hilo (especificación AWG/mms).
- La presencia de derivaciones puenteadas.
- La interferencia de acoplamientos cruzados.
- La atenuación de la línea aumenta con la frecuencia y la longitud de la línea y disminuye cuando se incrementa el diámetro del hilo.

Algunas de las velocidades de transmisión se mencionan a continuación:

- Velocidades de datos de 1,5 ó 2 Mbps; calibre del hilo 24 AWG (American Wire Gauge, especificación de diámetro de hilos; a menor número de AWG le corresponde un mayor diámetro del hilo) (es decir, 0,5 mm), distancia 5,5 Km.
- Velocidades de datos de 1,5 ó 2Mbps; calibre del hilo 26 AWG (es decir, 0,4 mm), distancia 4,6 Km.
- Velocidad de datos de 6,1 Mbps; calibre del hilo 24 AWG (es decir, 0,5 mm), distancia 3,7 Km.
- Velocidad de datos de 6,1 Mbps; calibre del hilo 26 AWG (es decir, 0,4 mm), distancia 2,7 Km., etc.

Para finalizar en el cuadro 5.4 se hace referencia a las diferencia claves o más significativas entre los medios de transmisión vía microondas y los que son vía cable.

Concepto.	Vía cable.	Vía microondas.
<i>Adquisición del terreno.</i>	Se requiere permiso en las tierras o derecho de vía a lo largo de toda la ruta.	Se adquiere un lugar para el repetidor cada 30 a 50 Km.
<i>Desvanecimiento.</i>	Ninguno, a excepción de las variaciones de temperatura.	Presenta en condiciones climáticas adversas.
<i>Acumulación de ruido.</i>	Inferior a 1pW/Km.	Mas de 3pW/Km.
<i>Interferencia de Radiofrecuencia (IRF).</i>	Ninguna.	Se presenta en forma considerable pero puede ser evitada.
<i>Separación entre repetidores.</i>	1.5, 4.5, 9 Km.	30-50 Km.
<i>Consideraciones de energía.</i>	Alto voltaje de CD en el rango de los miliampers.	48 V. en CD sin interrupción en cada lugar, en el rango de los amperios.
<i>Costos comparativos.</i>	Es económico para pequeñas distancias, pero su costo se eleva para distancias muy grandes.	Es caro para un espacio muy pequeño, pero muy económico para grandes distancias.
<i>Mantenimiento e ingeniería.</i>	Bajo nivel ya que casi no requiere mantenimiento.	Alto nivel, su mantenimiento preventivo mínimo se realiza en lapsos de cada tres meses.
<i>Terreno.</i>	Consideraciones importantes en el tendido del cable.	Puede saltarlo y sacar ventaja de las dificultades del terreno.

Cuadro 5.4 Comparativa entre medios de transmisión vía radio y vía cable.

CONCLUSIONES.

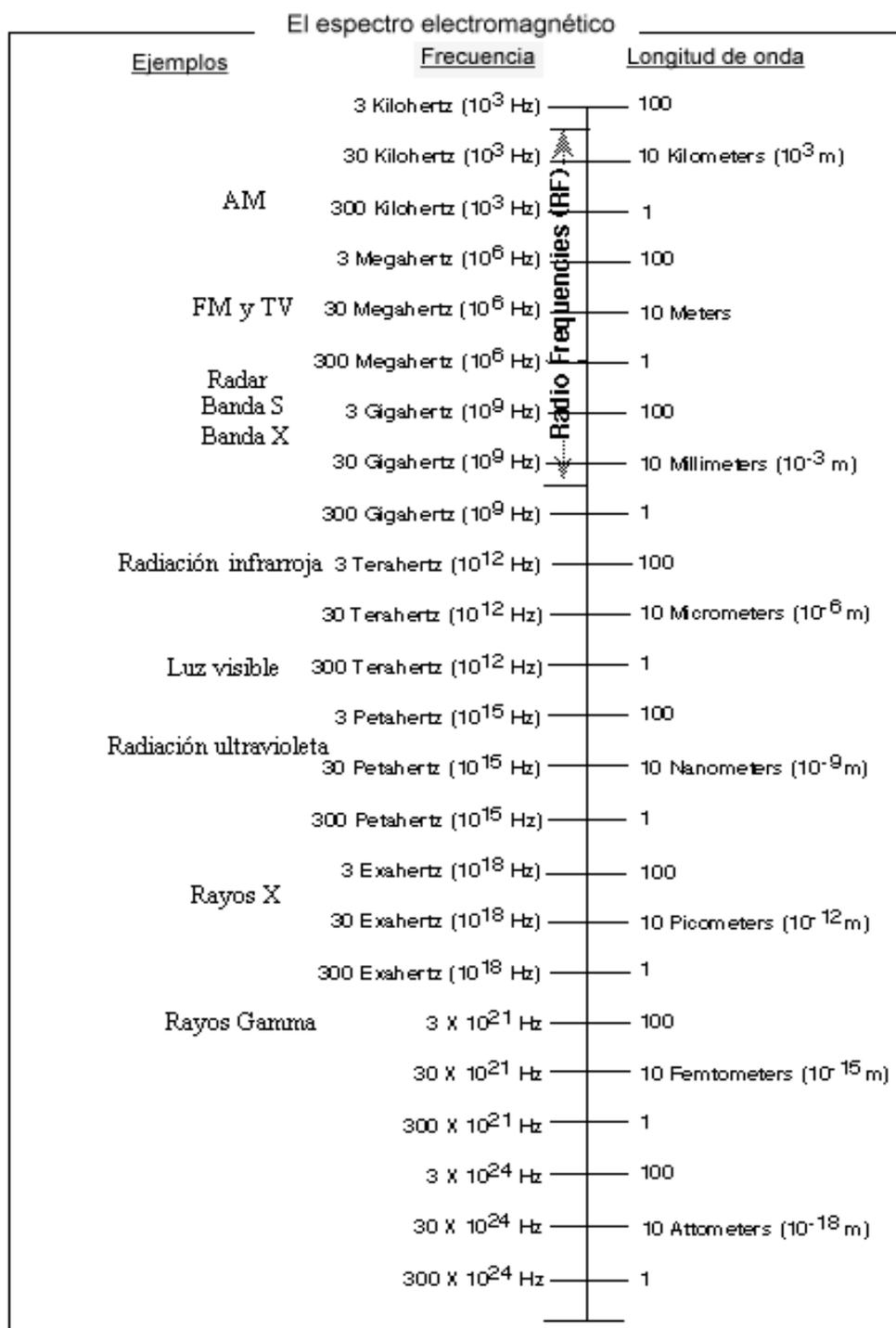
Se pudo cumplir con los objetivos planteados al principio al describir como es que está compuesto un sistema de comunicaciones vía microondas así como los aspectos que debe de cumplir para poner en funcionamiento al mismo sistema y sus costos comparados contra sistemas de comunicaciones alámbricos aplicados para grandes distancias ya que es mucho más económico con respecto a uno que necesite cables para la transmisión, sobre todo si son grandes distancias las que se tengan que librar para que la información transmitida llegue a su destino final.

Ciertamente, y en forma contraria, el establecer un enlace vía microondas para una distancia pequeña en relación a las grandes distancias que por lo general se manejan, arriba de 30 kilómetros, resulta mas costoso ya que la infraestructura no es recomendable para su instalación por lo que se recomienda la implantación de sistemas de comunicaciones alámbricos.

De preferencia se recomienda para pequeñas distancias los sistemas de comunicaciones que utilicen fibra óptica ya que presentan un mayor ancho de banda, grandes velocidades para la transmisión de datos, pérdidas mínimas y un mayor tiempo de vida comparado con un sistema que utilice cable coaxial.

APENDICE

Espectro electromagnético.



GLOSARIO.

A - amperio (unidad de corriente eléctrica).

AC - véase c.a.

A/D - analógico/digital.

AF - audiofrecuencia.

AFC - véase **CAF**.

AFSK - *audio frequency-shift keying*; manipulación por variación de frecuencia de audio o tono.

AGC - véase **CAG**.

AM - *amplitude modulation*; modulación de amplitud.

AMTOR - *AMateur Teleprinting Over Radio* (modalidad de radio teletipo utilizada por los radioaficionados).

APO - *automatic power off*; interruptor automático de encendido.

ARQ - *automatic repeat request*; petición automática de repetición.

ASCII - *American National Standard Code for Information Interchange*; código estándar americano para intercambio de información.

ATV - véase **TVA**.

AVC - véase **CAV**.

AWG - *American Wire Gauge*; sistema norteamericano de calibres de alambres.

BBS - *Bulletin Board System*; buzón de radiopaquete.

BC - *broadcast*; radiodifusión.

BCD - *binary-coded decimal*; decimal codificado en binario.

BCI - *broadcast interference*; interferencia de radiodifusión.

Bd - baud o baudio; (bit/s en transmisión binaria de datos en un solo canal).

BER - *bit error rate*; frecuencia de error en bits.

BFO - véase **OFB**.

bit - dígito binario.

bit/s - bit por segundo.

BLI (LSB) - Banda lateral inferior (*lower sideband*).

BLS (USB) - Banda lateral superior (*upper side-band*).

BLU (SSB) - Banda lateral única (*single-sideband*).

BPF - *band-pass filter*; filtro de paso de banda o pasabanda.

bps - bits por segundo.

BW - *bandwidth*; anchura de banda.

byte - grupo de ocho bits (octeto).

C - culombio (unidad); condensador

c.a. (AC) - corriente alterna (*alternating current*).

CAF (AFC) - control automático de frecuencia (*automatic frequency control*).

CAG (AGC) - control automático de ganancia (*automatic gain control*).

CAMR (WARC) - Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (*World Administrative Radio Conference*)

CAV (AVC) - control automático de volumen (*automatic volume control*).

CB - *Citizens Band*; banda ciudadana.

c.c. (DC) - corriente continua (*direct current*).

CCIR - Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.

CCITT - Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.

CCTV - véase **TVCC**.

CCW - *coherent CW*; onda continua (CW) coherente.

CI (IC) - circuito integrado (*integrated circuit*).

CMOS - *complementary-symmetry metaloxide semiconductor*; semiconductor metal-óxido de simetría complementaria.

CRT - véase **TRC**.

CT - véase **TC**.

CW - *continuous wave*; onda continua; telegrafía.

D – diodo.

D/A - digital a analógico.

DAC - *digital-to-analog converter*; convertidor digital a analógico.

dB - decibelio (0,1 belio).

dB_i - decibelios por encima (o por debajo) de la señal de una antena isotrópica.

DBL (DSB) - doble banda lateral (*double sideband*).

dB_m - decibelios por encima (o por debajo) del nivel de referencia 1mW sobre 600.

dBV - decibelios por encima (o por debajo) de 1 V (en vídeo, relativo a 1 V P-P).

dBW - decibelios por encima (o por debajo) de 1 W.

dc - véase **c.c.**

DDS - *Direct Digital Synthesizer*; sintonizador digital directo; síntesis digital directa.

DET – detector.

DFT - *Discrete Fourier Transform*; transformada discreta de Fourier.

DP - *Data Processing*; proceso de datos.

DPDT - *double-pole double-throw (switch)*; conmutador bipolar de dos posiciones (dos circuitos, dos posiciones).

DPSK - *differential phase-shift keying*; manipulación por variación de fase.

DPST - *double-pole single-throw*; interruptor bipolar (dos circuitos, una posición).

DS - *direct sequence*; secuencia directa (modalidad de espectro ensanchado).

DSB - véase **DBL**.

DSP - *Digital Signal Processor*; procesador digital de señal.

DTMF - *dual-tone multifrequency*; multifrecuencia de doble tono.

DTSS - *dual-tone squelch system*; sistema silenciador de doble tono.

DX - *long distance*; larga distancia.

E - tensión o voltaje.

ECL - *emitter-coupled logic*; lógica de emisor acoplado.

EEPROM - *Electrically Erasable Programmable Read-only Memory*; memoria de sólo lectura, programable y borrable eléctricamente.

EHF - *extremely high frequency*; frecuencia extremadamente alta (30 a 300 GHz)

EIRP - *effective isotropic radiated power*; potencia efectiva radiada por una antena isotrópica.

ELF - *extremely low frequency*; frecuencia extremadamente baja.

EMC - *electromagnetic compatibility*; Compatibilidad electromagnética.

EMI - véase **IEM**

EMF - véase **FEM**

EMP - *electromagnetic pulse*; impulso electromagnético.

ERP - *effective radiated power*; potencia radiada eficaz.

F - faradio (unidad de capacidad); *fuse*; fusible.

FAI - *field-aligned irregularities*; irregularidades de alineación de campo.

FAX - *facsimile*; facsimile.

FD - *Field Day, folded dipole*; día de campo, dipolo doblado.

FEC - *Forward Error Correction*; sistema automático de corrección de errores.

FDM - *Frequency Division Multiplex*; múltiplex por división de frecuencia.

FEM (EMF) - fuerza electromotriz (*electromotive force*).

FET - *field-effect transistor*; transistor de efecto de campo.

FH - *Frequency Hopping*; salto de frecuencia.

FI (IF) - frecuencia intermedia (*intermediate frequency*).

FL – filtro.

FM - *frequency modulation*; modulación de frecuencia.

FOT - *frequency of optimum transmission*; frecuencia óptima de trabajo.

F/R - *front-to-rear ratio*; relación frente/posterior.

FSK - *frequency-shift keying*; manipulación por desplazamiento de frecuencia.

G - giga (prefijo equivalente a 10^9)

GDO - *grid- o gate-dip oscillator*; oscilador por mínimo de rejilla o graduador.

GHz – Gigahertz.

GND - *ground*; masa, tierra.

GSM - Sistema global para comunicaciones móviles.

H - henrio (unidad de inductancia).

HF - *high frequency*; alta frecuencia (onda corta, 3 a 30 MHz).

HFO - *high frequency oscillator*; oscilador de alta frecuencia.

HPF - *highest probable frequency, highpass filter*; frecuencia más alta probable, filtro de paso alto.

Hz - hercio (unidad de frecuencia).

HV - *High Voltage*; alta tensión.

I - intensidad de corriente.

IC - véase **CI**.

ID - *identification, inside diameter*; identificación, diámetro interior.

IEM (EMI) - interferencia electromagnética (*electromagnetic interference*).

IFRB - Junta Internacional de Registro de Frecuencias.

IMD - *intermodulation distortion*; distorsión de intermodulación.

I/O - *input/output*; entrada/salida.

IR - *Infra Red*; infrarrojo.

IRC - *international reply coupon*; cupón de respuesta internacional.

IRF - (RFI) interferencia de radiofrecuencia (*radio frequency interference*).

ISO - *International Organization for Standardization*.

ITU - véase **UIT**.

j - operador matemático para notación compleja, como el de la componente reactiva de una impedancia (+ j inductiva; – j capacitiva).

J - joule (Kg. m²/s²) (unidad de energía o trabajo); conector tipo jack.

JFET - *junction field-effect transistor*; transistor de efecto de campo de unión.

k - kilo (prefijo equivalente a 10³); constante de Boltzmann (1,38 x 10⁻²³ J/K).

K - Kelvin (utilizado sin símbolo de grado), (escala absoluta de temperatura).

KΩ. – kilohm.

kBd - 1.000 baudios.

kbit - 1.024 bits.

kbit/s - 1.000 bits por segundo.

kbyte - 1.024 bytes.

Kg. – kilogramo.

KHz. – kilohercio.

Km. – kilómetro.

Kv. – kilovoltio.

Kw. – kilowatt.

L - lambert, inductancia.
LC - inductancia-capacitiva.
LCD - *liquid crystal display*; visualizador de cristal líquido.
LED - *light-emitting diode*; diodo emisor de luz o diodo electroluminiscente.
LF - *low frequency*; baja frecuencia (onda larga, 30 a 300 KHz.).
LHC - *left-hand circular (polarization)*; polarización circular hacia la izquierda.
LO - *local oscillator*; oscilador local.
LP - *log periodic*; periódica logarítmica (antena).
LPF - *Low-Pass Filter*; filtro pasabajos.
LS - *loudspeaker*; altavoz.
LSB - véase **BLI**.
LSI - *large-scale integration*; integración a gran escala.
LUF - *lowest usable frequency*; frecuencia mínima utilizable.

M - mega (prefijo equivalente a 10^6).
MΩ – megaohm.
mA – miliamperio.
mAh - miliamperio-hora.
Mb - Megabyte (1.000.000 bytes u octetos).
MDS - *Multipoint Distribution Service, minimum discernible (or detectable) signal*; servicio de distribución multipunto, mínima señal discernible (o detectable).
MF - *medium frequency*; frecuencia (onda) media (300 a 3.000 KHz).
mH – milihenrio.
MHz – megahercio.
mi - milla terrestre americana (1.609,3 m).
mic – micrófono.
mi/h - milla por hora.
min – minuto.
mi/s - milla por segundo.
MIX - *mixer*; mezclador.
mm – milímetro.
MMIC - Circuito integrado monolítico de microondas.
MOD – modulador modem - modulador-demodulador.
MOS - *metal-oxide semiconductor*; semiconductor metal-óxido.
MOSFET - *metal-oxide-semiconductor field effect transistor*; transistor de efecto de campo semiconductor metal-óxido.
ms – milisegundo.
m/s - metros por segundo.

MSI - *medium-scale integration*; integración a media escala.

MUF - *maximum usable frequency*; frecuencia máxima utilizable.

mV – milivoltio.

mW – milivatio.

n - nano (prefijo equivalente a 10^{-9}).

NBFM - *narrow-band frequency modulation*; Modulación de frecuencia de banda estrecha.

NC - *normally closed*; normalmente cerrado; flotante, sin conexión.

NCS - *net-control station*; estación de control de red.

nF – nanofaradio.

NF - *noise figure*; factor de ruido.

nH – nanohenrio.

NiCd - níquel-cadmio.

NM - *Net Manager*; coordinador de red.

NMOS - *N-channel metal - oxide semiconductor*; MOS de canal N.

NO - *normally open*; normalmente abierto (relés).

NPN - negativo-positivo-negativo (transistor).

ns – nanosegundo.

OCV (VCO) - oscilador controlado por tensión (*voltage controlled oscillator*).

OD - *outside diameter*; diámetro exterior.

OFB (BFO) - oscilador de frecuencia de batido (*beat frequency oscillator*).

OFV (VFO) - oscilador de frecuencia variable. (*variable-frequency oscillator*).

op amp - *operational amplifier*; amplificador operacional.

ORS - *official relay station*; estación retransmisora autorizada.

OSC - oscilador (abreviatura usada en los esquemas).

OTS - *official traffic station*; estación de tráfico oficial.

p - pico (prefijo equivalente a 10^{-12}).

P - potencia, energía.

PA - *power amplifier*; amplificador de potencia.

PAM - *pulse-amplitude modulation*; modulación por amplitud de impulsos.

PCB - *Printed Circuit Board*; placa de circuito impreso.

PEP - *peak envelope power*; potencia de pico de la envolvente.

PEV - *peak envelope voltage*; tensión de pico de la envolvente.

pF – picofaradio.

pH – picohenrio.

PIN - positivo-intrínseco-negativo (transistor).

PIV - *peak inverse voltage*; tensión inversa de pico.

PL - *Program Language*; lenguaje de programación.

PLL - *phase-locked loop*; bucle de enganche de fase.

PM - *phase modulation*; modulación de fase.

PMOS - *P-channel metal-oxide semiconductor*; MOS de canal P (tipo).

PNP - positivo-negativo-positivo (transistor).

pot – potenciómetro.

P-P - pico a pico; cresta a cresta.

PPM - *Pulse Position Modulation*; modulación por posición de impulsos.

PR - *Packet Radio* (Radiopaquete).

PSK - *Phase Shift keying*; manipulación por desplazamiento de fase.

PTO - *permeability-tuned oscillator*; oscilador de sintonía por permeabilidad.

PTT - *push to talk*; pulsar para hablar (botón de micrófono).

PWM - *Pulse Width Modulation*; modulación por ancho de impulsos.

Q - factor de calidad (circuito resonante); transistor (abreviatura en esquemas).

QAM - *Quadrature Amplitude Modulation*; modulación en amplitud de dos señales desfasadas 90°.

QRP - baja potencia (menos de 5 W de salida).

R - resistor, resistencia (abreviatura usada en los esquemas).

RACES - *Radio Amateur Civil Emergency Service*; servicio de emergencia civil a cargo de radioaficionados (equivalente a Protección Civil).

RC - resistencia-capacidad.

R/C – radiocontrol.

RDF - *radio direction finding*; radiolocalización o radiogonometría.

RF – radiofrecuencia.

RFC - *radio frequency choke*; choque de radiofrecuencia.

RFI - véase **IRF**.

RHC - *right-hand circular (polarization)*; circular hacia la derecha (polarización).

RIT - *receiver incremental tuning*; sintonía incremental de recepción.

RLC - resistencia-inductancia-capacidad.

RMS - *root mean square*; valor eficaz.

ROE (SWR) - relación de ondas estacionarias (*standing-wave ratio*).

ROET (VSWR) - relación de ondas estacionarias de tensión (*voltage standing-wave ratio*).

RST - *readability-strength-tone*; legibilidad fuerza-tono.

RX - receptor, recepción.

s – segundo.

S - siemens (unidad de conductancia); símbolo representativo de conmutador.

SAW - *surface-acoustic-wave*; onda acústica superficial (filtro de FI).

SB - *Sidescatter*; propagación por dispersión lateral de la onda.

SCR - *Semiconductor Controlled Rectifier*; tiristor.

SID - *Sudden Ionospheric Disturbances*; disturbios ionosféricos repentinos.

SINAD - *Signal and Noise Added*; señal y ruido sumados.

SIMPO - *Strength, Interference, Noise, Propagation, Overall*; sistema de evaluación de las señales recibidas.

SMD - *surface mounted device*; componente de montaje superficial

S/N (S/R) - *signal-to-noise (ratio)*; relación señal/ruido.

SPDT - *single-pole double-throw (switch)*; conmutador unipolar (un circuito, dos posiciones).

SPST - *single-pole single-throw (switch)*; interruptor unipolar.

SS - *Spread Spectrum*; espectro ensanchado.

SSB - véase **BLU**.

SSI - *small-scale integration*; integración a pequeña escala.

SWL - *shortwave listener*; escucha, radioescucha en onda corta.

SWR - véase **ROE**.

SX – símplex.

sync - sincrono, sincronización.

T - tera (prefijo equivalente a 10^{12}), transformador.

TC (CT) - toma central (*center tap*).

TE - *Transequatorial Scatter*; propagación por dispersión transecuatorial.

Templadores –tipo de tensor de cable de acero, se encuentran en las torres de transmisión.

TNC - *terminal node controller*; nodo terminal de control; controlador.

tfc - *traffic*; tráfico.

TR - *transmit-receive*; transmisión-recepción.

TTL - *transistor-transistor logic*; lógica transistor- transistor.

TVI - véase **ITV**.

TX - transmisor, transmisión

UHF - *ultra-high frequency*; frecuencia ultra-alta (300 MHz a 3 GHz).

UIT (ITU) - Unión Internacional de Telecomunicaciones (*International Telecommunications Union*).

UTC - *coordinated universal time*; hora universal coordinada (igual a Z).

UV - *ultraviolet*; ultravioleta

V - voltio; válvula de vacío (abreviatura en esquemas).

VCO - véase **OCV**.

VCR - *video cassette recorder*; grabador de videocasetes.

VDT - *video-display terminal*; terminal de visualizador de vídeo.

VFO - véase **OFV**.

VHF - *very-high frequency*; frecuencia muy alta (30 a 300 MHz).

VLF - *very-low frequency*; frecuencia muy baja (3 a 30 kHz).

VMOS - *vertical metal-oxide semiconductor*; MOS vertical.

VOM - *volt-ohm meter*; comprobador universal.

VOX - *voice-operated switch*; conmutador de transmisión activado por la voz.

VR - *voltage regulator*; regulador (estabilizador) de tensión.

VXO - *variable crystal oscillator*; oscilador a cristal con variación de frecuencia.

W - vatio (Kg. m²s⁻³, unidad de potencia)

WBFM - *wide-band frequency modulation*; modulación de frecuencia de banda ancha.

Wh - watts-hora.

WPM - *words per minute*; palabras por minuto.

WVDC - *working voltage, direct current*; tensión de trabajo en corriente continua.

X – reactancia.

XCVR – transceptor.

XFMR – transformador.

XMTR – transmisor.

XO - oscilador de cristal.

XTAL – cristal.

XVTR – transversor.

Y - cristal (abreviatura en esquemas)

YIG - *yttrium iron garnet*; granate de itrio y hierro.

Z - símbolo de impedancia; véase UTC (equivalente).

BIBLIOGRAFÍA

TOMASI, WAYNE.

1988

“Sistemas de Comunicaciones electrónicas“

Editorial Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs N.J.

TECHNICAL, STAFF BELL TELEPHONE LABORATORIES.

1982

“Transmission Systems for Communications. 5th. edition “

Bell Telephone Laboratories, Holmdel N.J.

FREEMAN, R.L.

1985

“Radio Systems Design for Telecommunications”

Editorial John Wiley and Sons Inc. New York.

FREEMAN, R.L.

1985

“Reference Manual for Telecommunications”

Editorial John Wiley and Sons Inc. New York.

FREEMAN, R, L.

1995

“Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones”

Editorial Limusa Noriega.

FEHER, KAMILO

1981

“Digital Communications: Microwave Applications”

Editorial Prentice Hall Inc.

PANTER, P.F

1972.

“Communications System Design”

Editorial Mc Graw Hill Book Co., New York, N. Y.

KENNEDY, GEORGE

1985

“Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”

Editorial Mc Graw Hill Book Co., New York, N. Y.1985

COUCH II, LEON W

1997.

“Sistemas de comunicación digitales y analógicos”.

Editorial Pearson Educación, 5ª edición.

GUEULLE P.

1991.

“Comunicaciones Electrónicas”.

Editorial Paraninfo S.A.

F.G. STREMLER.

1993

“Introducción a los sistemas de comunicación”.

Editorial Iberoamericana.

LEON W. COUCH.

1995.

“Sistemas de comunicación analógicos y digitales”.

Editorial Prentice Hall.

B.P. LATHI.

1992.

“Sistemas de comunicaciones”.

Editorial Mc Graw Hill.