



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

T É S I S

“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PARA
SEÑALES SATELITALES DE TELEVISIÓN”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

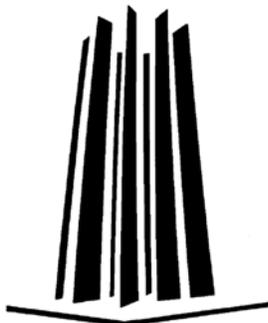
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
(ÁREA ELÉCTRICA-ELECTRONICA)

P R E S E N T A:

ALAN SIDNEY TORRES SÁNCHEZ.

ASESOR:

ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ



MÉXICO

2007



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.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a cada uno de los que formamos parte de la familia Torres, mis hermanos Jorge y Rita, Víctor, David y May, por sus buenos consejos y apoyo invaluable; mis sobrinos Lesli, Jorge, Alex y Edgar, que a pesar de su corta edad tienen claros los valores de la vida; en especial a mis padres, que desde mi niñez hicieron todo lo posible por darme todo lo mejor para formar a la persona que soy hasta el día de hoy. Mi Mamá que a pesar de los obstáculos y barreras supo guiarme, apoyarme y entenderme en cada una de las etapas de mi vida. A mi esposa que ha estado a mi lado en todo momento brindándome su apoyo incondicional y guiándome para seguir creciendo como ser humano a mi hijo Félix que con su alegría y fortaleza hizo que despertara el niño que llevo por dentro y ver la vida de otra manera.

A mis profesores de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por compartir sus conocimientos así como a mi asesor de tesis el Ing. Margarito Pineda y el grupo de sinodales por el tiempo compartido para concluir con este trabajo de titulación.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Domingo Torres Jiménez, quien dejó este mundo para vivir en paz en Diciembre de 1993; que donde quiera que este sabe que estoy profundamente agradecido por todo lo que me dio y todo los momentos compartidos y que a pesar de todo siempre es y será el mejor padre y que por todo esto espero que se sienta orgulloso de todo lo que he logrado hasta el día de hoy.

COMUNICACIÓN SATELITAL

IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PARA SEÑALES SATELITALES DE TELEVISIÓN

INTRODUCCIÓN	I
OBJETIVO	II
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.	
1.1. Historia de las comunicaciones electrónicas	1
1.2. Historia de la Televisión	4
1.2.1. Televisión monocromática	
1.2.2. Televisión a color	
1.3. Historia de los satélites	6
1.3.1. Sistema de comunicaciones globales vía Satélite INTELSAT	
1.3.2. Sistema de satélites INTERSPUTNIK y estaciones soviéticos	
1.3.3. Sistema de satélites marinos INMARSAT	
1.4. El espectro electromagnético.	8
1.4.1 Banda base	
1.5. Ancho de banda.	9
1.6. Capacidad de información.	10
1.6.1. Limite de Shannon para la capacidad de información	
1.7. Modos de transmisión.	11
1.8. Análisis de señales	11
1.8.1. Señales senoidales	
1.8.2. Ondas periódicas no senoidales	
1.8.3. Simetría de la onda	
1.9. Tipos de ruido	15
1.9.1. Ruido Blanco	
1.9.2. Ruido de impulso	
1.9.3. Ruido de intermodulación	
1.10. Generación de señales	18
1.10.1. El oscilador	
1.10.2. El sonido	
1.10.3. La voz	

1.11. Tipos de modulación	21
1.11.1. Modulación de amplitud	
1.11.2. Modulación en frecuencia	
1.11.3. Modulación por pulsos	
1.11.4. Multiplexión	
1.11.5. Modulación digital	
1.12. Corrección de errores	32
1.12.1. Sustitución de símbolos	
1.12.2. Retransmisión	
1.12.3. Seguimiento de corrección de errores	
1.12.4. Tasa de bits erróneos	
1.13. Códigos	32
1.13.1. Códigos de línea	
1.13.2. Código Morse	
1.13.3. Código de Huffman	
1.13.4. Código Baudot	
1.13.5. Código ARQ	
1.13.6. Código ASCII	
1.13.7. Código EBDCDIC	
1.14. Transmisión de datos	36
1.14.1. Señales analógicas	
1.14.2. Señales digitales	
1.14.3. Transmisión analógica	
1.14.4. Transmisión digital	
1.14.5. Transmisión y sincronización	
1.14.6. Transmisión asíncrona	
1.14.7. Transmisión síncrona	
1.15. Procesamiento digital de señales	39
1.15.1. Principios de la transmisión digital	
1.15.2. Muestreo de señales	

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.

2.1. Segmento espacial	43
2.1.1. El satélite	
2.1.2. Lanzamiento y colocación en órbita	
2.1.3. El satélite y el medio ambiente en el espacio	
2.2. Segmento terrestre	46
2.2.1. Trayectoria de transmisión ascendente	
2.2.2. Trayectoria de recepción descendente	
2.3. Estructura básica de un satélite	48

2.3.1. Subsistema de un satélite	
2.3.2. Subsistema de telemetría, comando y rango	
2.3.3. Subsistema de potencia	
2.4. Tipos de satélites	50
2.4.1. Satélites orbitales	
2.4.2. Satélites geoestacionarios	
2.5. Transponder	51
2.6. Configuración y topologías de comunicación vía satélite	52
2.6.1. Configuraciones	
2.6.2. Topología de la red	
2.7. Técnicas de acceso	54
2.8. Protocolos de comunicaciones	57
2.8.1. Protocolo orientado a carácter	
2.8.2. Protocolo orientado a bit	
2.8.3. Protocolo SNMP	
2.8.4. Protocolo TCP/IP	
2.8.5. Protocolo X.25	

CAPÍTULO 3. ENLACE SATELITAL.

3.1. Módulos de enlace de un sistema satelital	61
3.1.1. Módulo de subida	
3.1.2. Transponder	
3.1.3. Módulo de bajada	
3.2. Sistemas de Transmisión	63
3.3. Sistemas de recepción	68
3.4. Estaciones terrenas	71
3.5. Apuntamiento de antenas parabólicas	73
3.5.1. Análisis Matemático	
3.5.2. Análisis gráfico	
3.5.3. Apuntamiento en forma práctica	
3.6. Instrumentos para la orientación de la antena	77
3.6.1. La brújula	
3.6.2. El inclinómetro	
3.6.3. El receptor	
3.6.4. El detector de nivel de intensidad	

3.7. Parámetros del sistema satelital	80
3.7.1. Potencia de transmisión y energía de bit	
3.7.2. Potencia isotrópica radiada efectiva	
3.7.3. Temperatura de ruido equivalente	
3.7.4. Densidad de ruido	
3.7.5. Relación de densidad de portadora a ruido	
3.7.6. Relación de densidad de energía a bit a ruido	
3.7.7. Relación de ganancia a temperatura a ruido equivalente	
3.8. Ecuaciones de enlace del sistema satelital	85
3.8.1. Ecuaciones de enlace	
3.8.2. Consideraciones	

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTI DWELLING UNIT

4.1. Conceptos Básicos	90
4.1.1. Componentes de una instalación básica	
4.1.2. Rangos de operación	
4.2. Frecuencias utilizadas	100
4.3. Sistemas de distribución	101
4.4. Topologías	104
4.5. Qué es un sistema Multi Dwelling Unit (MDU)	107
4.5.1. Etapa de tono	
4.5.2. Etapa de amplificación	
4.5.3. Etapa de división	
4.5.4. Etapa de distribución	
4.5.5. Multiswitch de cuatro salidas	
4.5.6. Componentes adicionales	
4.5.6.1. Diplexor combinador	
4.5.6.2. Diplexor separador	
4.5.6.3. Amplificador de línea	
4.5.6.4. Insertores de voltaje	
4.5.6.5. Divisor atenuador	
4.5.6.6. Fuentes de voltaje	
4.5.6.7. Bloqueadores de tono	
4.6. En donde es conveniente instalar sistemas MDU	114
4.7. Atenuación y ganancia	115
4.7.1. Nivel de señal en el receptor digital	
4.8. Implementación de un sistema MDU	117
4.8.1. Cálculo de atenuaciones y ganancias	

4.8.2. Materiales y herramientas utilizados en la instalación del sistema MDU	
4.9. Normas de Instalación	124
4.9.1. Identificación del cableado	
4.9.2. Recomendación para el cableado	
4.9.3. Ductos	
4.9.4. Recomendaciones generales de instalación	
4.10. Mantenimiento de un sistema MDU.	129
4.10.1. Mantenimiento correctivo	
4.11. Proveedores	131
4.11.1. Telesystem	
4.11.2. Global Communications	
4.12. Ventajas de un sistema de distribución.	140
CONCLUSIONES	III
BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA	IV

INTRODUCCIÓN

Derivado del constante crecimiento de la población en zonas urbanas, en países como México, se hace cada vez más necesario la implantación de sistemas prácticos de comunicación.

Tal es el caso de la Televisión vía satélite, misma que en los últimos años ha tenido una gran demanda y ventajas competitivas ante otros sistemas de televisión, a comparación con otros, hay casos en los que las redes de televisión por cable no alcanza una cobertura total, por el difícil acceso a los sitios, como son barrancas, cerros, cañadas, etc; la televisión vía microondas solo llega a ciertos puntos ya que no existen varias repetidoras de su señal que cubren a todo el país, en cambio, en la televisión vía satélite solo se necesita apuntar la antena parabólica y tener línea de vista hacia el mismo, por lo que en cualquier sitio en donde se requiera este tipo de sistema, se podrá instalar sin ningún problema.

En la presente tesis se estudiarán los conceptos básicos de las comunicaciones electrónicas como son: el espectro electromagnético, ancho de banda, modos de transmisión, tipos de modulación, entre otros conceptos que nos ayudarán a comprender el proceso de los sistemas de comunicación. Posteriormente se explicará en que consisten los sistemas de comunicación vía satélite, desde que es un satélite y su función, hasta el cálculo de enlace de un sistema satelital (capítulo 3).

Finalmente se desarrollará en el capítulo 4 la implementación de un sistema llamado Unidad Multi residencial (MDU; Multi Dwelling Unit), explicando a detalle cada uno de los elementos que lo componen, su función y el diseño del mismo, sus ventajas con las instalaciones tradicionales de televisión satelital.

OBJETIVO

Implementar un sistema de Unidad Multi Residencial (MDU; Multi Dwelling Unit) que permita distribuir la señal de televisión recibida del satélite, en un punto determinado, en este caso será, un edificio con 24 departamentos.

En una instalación habitual de señal de televisión vía satélite, es necesario colocar una antena, un LNB, una trayectoria de cable hasta el receptor digital o decodificador. Esto quiere decir, que para "n" cantidad de usuarios o decodificadores, es necesario, colocar "n" cantidad de antenas, "n" cantidad de LNB's, así como "n" trayectorias de cable.

Con este sistema, no habrá tal necesidad, ya que con una sola antena y un LNB se podrá realizar un diseño para distribuir la señal de televisión satelital desde uno hasta "x" cantidad de usuarios y/o decodificadores. Esto permitirá, un fácil control sobre la instalación en el inmueble, estética del lugar, así como la reducción de costos en la instalación total.

Cabe mencionar que con este sistema se tendrá la misma calidad de señal, ya que se diseña y se estudia cada una de las etapas, para obtener los niveles óptimos de señal.

Con un diseño básico se puede comprender que puede satisfacer las necesidades de clientes corporativos, grandes edificios, hoteles, centros de entretenimiento, comunidades rurales en donde no exista ningún tipo de señal de televisión y se quiera transmitir señal a los habitantes, en fin, cada usuario final puede aprovechar la aplicación de este sistema desde el punto de vista que a este le convenga.

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

En este capítulo se mencionará, el principio de las comunicaciones electrónicas, comenzando con algunas teorías e investigaciones que desarrollaron diferentes físicos para la transmisión y la recepción de señales a través del espacio o de un medio físico.

Entre estas Investigaciones, se menciona como fueron las primeras formas de comunicación entre un punto y otro por medio de un cable metálico, que dio inicio al telégrafo, la primera conversación humana, que dio inicio al teléfono. Así como el lograr poder transmitir señales de radio de forma inalámbrica, que con el descubrimiento del tubo triodo se pudieron amplificar estas señales, para la mejor recepción de estas, y alcanzar grandes distancias.

Mencionare los inicios de la televisión lo cual nace con la inquietud de transmitir imágenes a un punto determinado, a medida de que se fueron desarrollando estas investigaciones se inicio con lo que fue la televisión monocromática o en blanco y negro. Con este principio se tuvo la necesidad de asignar frecuencias para poder transmitir la señal de TV comercial.

Los satélites surgen de la idea de colocar repetidores de microondas para tener una cobertura mundial hablando de comunicaciones, por eso en este capítulo menciono brevemente la historia de los satélites, sus inicios, y el fin que se buscaba con estos.

1.1 HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS

La teoría sobre las comunicaciones electrónicas comenzó a mediados del siglo XIX con el físico inglés, James Clerk Maxwell. Las investigaciones matemáticas de Maxwell indicaron que la electricidad y la luz viajan en forma de *ondas electromagnéticas*, y por lo tanto, están relacionadas unas con otras. Maxwell predijo que era posible propagar ondas electromagnéticas por el *espacio libre* utilizando descargas eléctricas. En donde predice una nueva forma de onda, una onda electromagnética compuesta por campos eléctricos y magnéticos que varían rápidamente y viajan a la velocidad de la luz. Estas ecuaciones dicen que la variación de un campo eléctrico produce un magnético y que la variación de un campo magnético produce un campo eléctrico. También nos indica que los patrones de variación de los campos eléctricos y magnéticos pueden propagarse juntos en un proceso sin fin, en forma de onda electromagnética; siendo su velocidad dependiente del medio a través del cual se propagan, así como la forma de variación de los campos electromagnéticos. Pronto se dieron a la tarea de comprobarlas y demostraron que estas podían ser reflejadas, refractadas y enfocadas, al igual que las ondas luminosas. Estas ecuaciones pusieron en claro muchos de los fenómenos que ocurrían en las líneas telegráficas y telefónicas. En sus trabajos Maxwell explica porque las primeras telecomunicaciones no podían enviar de forma rápida las señales a largas distancias. Los ingenieros que diseñaban las líneas telegráficas asumían que la corriente era la misma a lo largo de toda la línea; así como la tensión entre conductor y tierra o entre

dos conductores se mantenía constante a lo largo de estas, pero las ecuaciones indican que esto es previsible siempre y cuando se cumplan dos requisitos: la resistencia de la línea a de ser baja, y la longitud de la línea debe ser pequeña, en comparación con la longitud de onda. Otro de los problemas que se deduce de las ecuaciones es la resistencia de los conductores que provocaba lentitud en la transmisión de las señales, es decir, no aparece la corriente eléctrica en el extremo de la línea de transmisión hasta que no se ha acumulado suficiente carga a lo largo de la línea, siendo la acumulación lenta a causa de la resistencia del conductor provocando retardos considerables cuando las distancias son grandes. De acuerdo con las ecuaciones de Maxwell las ondas electromagnéticas sinusoidales tienen una velocidad que se puede medir en m/s y cuando viajan a través de un medio sufren atenuación que se puede medir en dB/m. Siendo la atenuación y la velocidad dependientes de la frecuencia de onda. Si enviamos un pulso a través de una línea muy larga, dado que el pulso tiene componentes frecuenciales y debido a la resistencia del cable los componentes frecuenciales viajan a distintas velocidades provocando que lleguen en distintos tiempos y atenuados.

La propagación de ondas fue lograda hasta 1888 cuando Heinrich Hertz, un científico alemán, pudo radiar energía electromagnética desde una máquina que él llamaba *oscilador*, Hertz desarrollo el primer transmisor de radio y, usando estos aparatos, pudo generar radiofrecuencias entre 31 MHz y 1.25 GHz, también desarrolló la primera *antena* rudimentaria, la cual se usa de manera modificada hoy en día. En 1892, E. Branly, de Francia, desarrolló el *primer detector* de radio y, exactamente un año después un experimentador ruso, A. S. Popoff, grabo ondas de radio emanadas de relámpagos.

El físico alemán comprobó que cuando en un conductor o en una espira conductora la corriente oscila invirtiendo periódicamente su flujo, esto generaría una onda electromagnética. La corriente oscilante crearía un campo electromagnético variable y ambos campos eléctrico y magnético al variar producirían una onda electromagnética. La onda electromagnética sería radiada y captada eficientemente si la espira o el conductor fueran resonantes, de manera que una corriente, una vez provocada, oscilará alternativamente de forma natural similar a un péndulo; este dispositivo de Hertz fue el *transmisor de bobina de chispa*.

El dispositivo de Hertz mostraba el principio de operaciones de una antena y fue utilizado por Guillermo Marconi para establecer la primera comunicación inalámbrica al otro lado del atlántico en 1900, lo que favoreció al desarrollo de la radio y la televisión.

El primer sistema de comunicaciones electrónicas fue desarrollado en 1837 por Samuel Morse, usando la *inducción electromagnética*, pudo transmitir información en forma de puntos, guiones y espacios por medio de un cable metálico. Le llamó a su invento el *telégrafo*. El dispositivo de Morse no hubiera sido posible sin el empleo de electroimán, que consiste de una bobina conductora enrollada alrededor de un metal de hierro dulce; al hacer circular una corriente este adquiere propiedades muy parecidas a las de un imán permanente, atrayendo materiales ferromagnéticos hacia uno de sus extremos. En el dispositivo original de Morse un operador movía una manivela con el objeto de cerrar un contacto eléctrico llamado pulsador, el cierre del contacto provocaba la circulación de corriente a través de un electroimán. La circulación de corriente en el electroimán empujaba hacia abajo una pluma que escribía los puntos y rayas transmitidos. Mas tarde ese dispositivo se mejoró, pero al principio de operación se conservó.

En 1876, un canadiense educador y terapeuta del lenguaje llamado Alexander Graham Bell y su asistente, Thomas A. Watson (un inventor también muy conocido), transmitieron exitosamente una

conversación humana a través de un *sistema telefónico* funcional usando cables metálicos como medio de transmisión. Esto se concibió teniendo la idea de enviar ondas sonoras de la voz por medio de corrientes eléctricas, por lo que se dedicó a desarrollar el teléfono que fue patentado en dicho año. La idea se inició del fenómeno que se genera de una onda sonora producida por el aire, por el acto de hablar. Otro fenómeno que atrajo la atención que se producía cuando una piedra se tira sobre un estanque, las ondulaciones que se producen viaja hacia el exterior formando círculos; sin embargo, el agua no viaja, no en la dirección en que se propaga las ondas, lo que sí se propaga es la perturbación vertical que se produce en el agua, en una onda la perturbación se transmite continuamente de un punto al siguiente, en el agua se hace de un punto a otro. A medida de que la onda viaja la altura del agua fluctúa en el tiempo en forma ondulatoria no de forma abrupta.

En los inicios de la telefonía se sacrificaba la calidad del sonido en beneficio de la potencia con la finalidad de alcanzar mayores distancias. Con el tiempo se dispuso dispositivos transductores de alta calidad haciendo más inteligible la información transmitida.

Cuando se lograron comunicar las ciudades de Boston y Chicago, fue necesario tender un par de cables de cobre para transmitir una única conversación, esto resultaba demasiado costoso y aún más si querían alcanzar mayores distancias. Mediante una técnica llamado *multiplexado* fue posible compartir el medio y transmitir varias conversaciones simultaneas. Actualmente, existen diferentes formas de transmisión *multiplex*, para eso la señal debe ser tratada antes de transmitirla, a esto se le llama *modulación*, con lo cual se logra trasladar la señal desde su margen de frecuencias en la banda base hacia un margen de frecuencia superior, sin alterar su amplitud ni su fase, e impide que se mezclen las señales en el medio.

Generalmente ningún sistema de comunicaciones transmite la señal en su banda base por diversas razones. Si intentamos transmitir una señal en su banda base, agotaríamos el margen de frecuencias y no podría transmitir ninguna otra señal en banda base, además la potencia con la cual se transmitirán debería ser grande a fin de alcanzar el punto extremo; dado que el medio por el cual viaja la señal cuenta con una resistencia al paso de la corriente que provoca la degradación de la señal.

Por otra parte, en radiocomunicaciones la longitud de onda de una señal de radio es igual a la velocidad de la luz dividida por la frecuencia y dado que la señal en banda base es formada por frecuencias muy bajas, y tiene por tanto longitudes de onda largas, esto llevaría al diseño de una antena muy grande, algo demasiado impráctico.

En 1894, Guglielmo Marconi, un joven científico italiano, logro las primeras comunicaciones electrónicas inalámbricas cuando transmitió señales de radio a tres cuartos de milla por atmósfera de la Tierra atravesando la propiedad de su padre. Por 1896, Marconi estaba transmitiendo señales de radio hasta dos millas desde los barcos a tierra, y en 1899 envió el primer mensaje inalámbrico por el Canal de la Mancha de Francia a Dover, Inglaterra. En 1902, las primeras señales trasatlánticas fueron enviadas de Poldu, Inglaterra, a Newfoundland. Lee DeForest inventó el *tubo de vacío de triodo* en 1908, el cual permitió la primera amplificación práctica de las señales electrónicas. La emisión regular de la radio comenzó en 1920, cuando las estaciones de radio AM (Amplitud Modulada) WWJ en Detroit, Michigan, KDKA en Pittsburg, Pennsylvania, comenzaron las emisiones comerciales. En 1933, el mayor Edwin Howard Armstrong inventó la Frecuencia Modulada (FM), la emisión comercial de las señales de FM comenzó en 1936. En 1948, el transistor fue

inventado en los laboratorios de los teléfonos Bell por William Shockley, Walter Brattain y John Bardeen. El transistor llevó al desarrollo y refinamiento del circuito integrado en la década de 1960.

1.2. HISTORIA DE LA TELEVISIÓN

La idea de transmitir imágenes o fotografías se experimentó por primera vez en la década de 1880 cuando Paul Nipkow, un científico alemán, realizó experimentos utilizando discos giratorios colocados entre una fuente de luz potente y el sujeto. En el disco se hizo una hilera de edificios en espiral, lo cual permitía que la luz explorara el objetivo de arriba abajo. Después de una revolución completa del disco, todo el objetivo ha sido explorado. La luz que reflejaba el objetivo se dirigía hacia una celda sensible a la luz, lo cual generaba una corriente proporcional, en intensidad, a la luz reflejada. La corriente que fluctuaba operaba con una lámpara de neón, la cual expedía una luz en proporción exacta a la que era reflejada por el objetivo. Un segundo disco exactamente igual al del transmisor se utilizaba en el receptor, y los dos discos giraban en sincronización exacta. El segundo disco estaba colocado entre la lámpara de neón y el ojo del observador, el cual veía una reproducción del sujeto.

Las imágenes reproducidas por este artefacto eran casi irreconocibles, aunque sus principios de exploración y sincronización todavía se utilizan.

En 1925, C. Francis Jenkins en Estados Unidos y Jhon L. Baird en Inglaterra, usando los discos para exploración conectados a amplificadores de tubo de vacío y a celdas fotoeléctricas, pudieron reproducir imágenes que fueran reconocibles, si bien su calidad era aun baja. Los científicos trabajaron varios años intentando desarrollar discos efectivos para la exploración mecánica que, con espejos y lentes mejorados y una fuente de luz más intensa, mejoraran la calidad de imágenes reproducida. Sin embargo en 1933; Radio Corporation of América (RCA) anunció un sistema de televisión, que desarrolló Vladimir K. Zworykin, el cual empleaba una técnica de exploración electrónica. El sistema de Zworykin, el cual empleaba una técnica de exploración electrónica. El sistema de Zworykin no requería de partes mecánicas movibles, en esencia, este es el sistema que se utiliza hoy día.

En 1941, comenzó en Estados Unidos la emisión comercial de señales de televisión *monocromática* (blanco y negro). En 1945, la FCC asignó 13 canales de televisión VHF: 6 canales de banda baja, 1 al 6 (44 a 88 MHz) y 7 canales de banda alta, 7 al 13 (174 a 217 MHz). Sin embargo, en 1948 se descubrió que el canal 1 (44 a 50 MHz) causaba problemas de interferencia, en consecuencia, este canal fue reasignado a los servicios de radio móvil. En 1952, los canales de UHF de 14 a 83 (470 a 890 MHz) fueron asignados por la FCC con el fin de proporcionar más estaciones de televisión. En 1974, la FCC reasignó las bandas de frecuencia de la telefonía celular en 825 a 845 MHz y 870 a 890 MHz, eliminando así los canales de UHF del 73 al 83 (sin embargo las licencias existentes son renovables) En 1947, R. B. Dome de la General Electric Corporation propuso el método de transmisión de sonido *interportadora* por la emisión de televisión que se utiliza en la actualidad. En 1949, se iniciaron los experimentos de transmisión a color y en 1953 la FCC adoptó el sistema del *Comité de Sistemas de Televisión Nacional* (NYSC) para la emisión de televisión a color, la cual todavía se utiliza.

La siguiente tabla muestra una lista completa de la asignación de canales y frecuencias de la FCC que se utilizan en Estados Unidos. Donde la letra X indica que dicho valor de frecuencia ya no se usa para televisión.

Numero de canal	Banda de frecuencia (MHz)	Numero de canal	Banda de frecuencia (MHz)	Numero de canal	Banda de frecuencia (MHz)
1	44-50	29	560-566	57	728-734
2	54-60	30	566-572	58	734-740
3	60-66	31	572-578	59	740-746
4	66-72	32	578-584	60	746-752
5	76-82	33	584-590	61	752-758
6	82-88	34	590-596	62	758-764
7	174-180	35	596-602	63	764-770
8	180-186	36	602-608	64	770-776
9	186-192	37	608-614	65	776-782
10	192-198	38	614-620	66	782-788
11	198-204	39	620-626	67	788-794
12	204-210	40	626-632	68	794-800
13	210-216	41	632-638	69	800-806
14	470-476	42	638-644	70	806-812
15	476-482	43	644-650	71	812-818
16	482-488	44	650-656	72	818-824
17	488-494	45	656-662	73x	824-830
18	494-500	46	662-668	74x	830-836
19	500-506	47	668-674	75x	836-842
20	506-512	48	674-680	76x	842-848
21	512-518	49	680-686	77x	848-854
22	518-524	50	686-692	78x	854-860
23	524-530	51	692-698	79x	860-866
24	530-536	52	698-704	80x	866-872
25	536-542	53	704-710	81x	872-878
26	542-548	54	710-716	82x	878-884
27	548-554	55	716-722	83x	884-890
28	554-560	56	722-728		

Tabla 1.1. Frecuencias para cada canal de Televisión

1.2.1 Televisión Monocromática

La emisión de televisión monocromática involucra la transmisión de dos señales separadas: una aural (sonido) y una de señal de video (imagen). La transmisión aural utiliza la modulación de frecuencia y la transmisión de video la modulación de amplitud.

La figura 1.1 muestra el espectro en frecuencia para un canal de radiodifusión de televisión estándar. Su ancho de banda total es de 6 MHz. La portadora de la imagen esta espaciado a 1.25 MHz arriba del limite inferior para el canal y la portadora de sonido a 0.25 MHzx debajo del limite superior. Por tanto, las portadoras de imagen y sonido tienen siempre 4.5 MHz de separación.

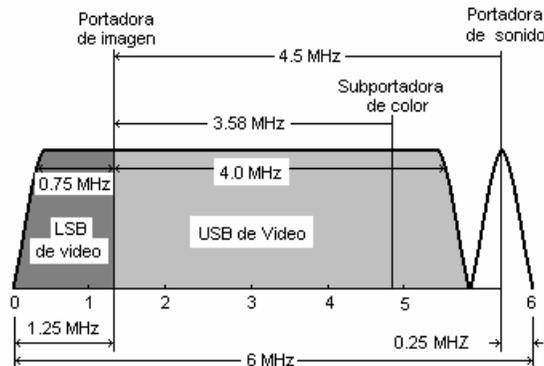


Figura 1.1 Espectro en frecuencia de un canal de radiodifusión estándar

La subportadora de color esta ubicada a 3.58 MHz arriba de la portadora de imagen. La radiodifusión de televisión comercial utiliza una transmisión de banda lateral vestigial para la formación de la imagen. La banda lateral inferior es de 0.75 MHz de ancho y la banda lateral superior es de 4 MHz. En consecuencia, las frecuencias bajas de video (un perfil general de la imagen) se enfatizan con relación a las frecuencias altas de video (detalles más exactos de la imagen). La portadora de sonido de FM tiene un ancho de banda de 75 KHz aproximadamente (± 25 KHz desviación para la modulación al 100%). La modulación de amplitud y fase se usa para codificar la información de color en la subportadora de color de 3.58 MHz.

1.2.2. Televisión a color

Un transmisor de televisión a color es idéntico al transmisor de blanco y negro como lo muestra la figura 1.1, excepto que se utiliza una cámara de color para generar la señal de video. Con las emisiones a color, todos los colores se generan mezclando diferentes cantidades de tres colores primarios: rojo, azul y verde, los cuales no se deben confundir con los tres pigmentos con los tres pigmentos primarios: cian, magenta y amarillo.

1.3. HISTORIA DE LOS SATÉLITES

Las comunicaciones involucran la transferencia de información entre la fuente y el o los usuarios. Existe una gran diversidad de medios por los que dicha transferencia puede efectuarse, ya sea por un par de cables, cables coaxiales, fibra óptica o guías de onda, las cuales tienen en común las características de requerir de un medio físico entre los puntos terminales o medios de transmisión inalámbricos, como las estaciones de microondas o estaciones terrenas para comunicaciones vía satélite. Las comunicaciones satelitales modernas se originan en la idea de Arthur C. Clarke de instalar repetidores de microondas en satélites geosíncronos para dar una cobertura de comunicaciones en el ámbito mundial.

A finales de los años cincuenta, Estados Unidos y la Unión Soviética comenzaron el desarrollo de los satélites y los vehículos de lanzamiento necesarios para colocarlos en órbita. De esta manera, el 4 de octubre de 1957 la URSS logró lanzar al espacio el satélite *Sputnik Y*. El objetivo de este primer satélite era determinar los parámetros de las capas superiores de la atmósfera y de la ionosfera. Su forma era esférica y su órbita elíptica. Este artefacto era capaz de lograr 15 revoluciones completas alrededor de la tierra en tan solo 24 horas, a una velocidad aproximada de 8 Km/s. Como cuerpo espacial dio un total de 1400 vueltas alrededor de nuestro planeta en 92 días.

Para no quedarse al margen de esta aventura espacial, Estados Unidos de América lanzó el satélite *Explorer* en enero de 1958 y, poco tiempo después en diciembre de ese mismo año, puso en órbita el primer satélite de comunicación activo del mundo, el SCORE, para servicios de la Fuerza Armada de ese país.

Después de varios años de investigación, el reto era incrementar la altura de los satélites aproximadamente 36000 Km de la Tierra, donde el periodo de rotación alrededor de nuestro planeta fuera de 24 horas. Así, cuando el satélite se localizará sobre el plano del Ecuador, su rotación sería geosíncrona, es decir, a la par de la Tierra. El primer satélite geoestacionario fue el *Syncomm II*, lanzado en 1963, el cual transmitió señales de televisión durante los juegos olímpicos de Tokio, en 1964.

Las comunicaciones comerciales por satélite comenzaron oficialmente en 1965, cuando se lanzó el famoso *Intelsat V*, también conocido como "Pájaro Madrugador". Tenía una capacidad equivalente a 240 canales de voz o uno de televisión, y proporcionaba servicios entre Europa y Norteamérica, únicamente.

Dentro del ámbito de los grandes consorcios internacionales mucho se puede hablar pues son en estos donde la gran mayoría de las innovaciones tecnológicas en satélites y comunicaciones tiene lugar, y son también estos consorcios quienes más usuarios reúnen a lo largo del mundo entero. Básicamente se puede hablar de los tres grandes consorcios internacionales: INTELSAT, INTERPUTNIK e INMARSAT.

1.3.1. Sistema de comunicaciones globales vía satélite INTELSAT

El 20 de agosto de 1964, 11 países firmaron una carta constitutiva dando origen a la Organización Internacional de Telecomunicaciones Vía Satélite (INTELSAT), la primera red de telecomunicaciones vía satélite mundial. INTELSAT inició ofreciendo servicios trasatlánticos en 1965 después del exitoso lanzamiento del INTELSAT 1 (Early Bird), el primer satélite geoestacionario del mundo. Actualmente, la cuarta y quinta generación de pájaros INTELSAT y servicios de comunicación doméstica reúnen a más de 112 naciones miembro.

1.3.2. Sistema de satélites INTERSPUTNIK y estaciones soviéticas

INTERSPUTNIK es una cooperativa de satélites internacional formada en noviembre de 1971 cuando 8 naciones firmaron el acuerdo de establecimiento de la organización. Ahora pertenecen a esta agrupación más de 14 naciones miembro.

1.3.3. Sistema de satélites marinos INMARSAT

La Organización Internacional de Satélites Marítimos (INMARSAT), es el único sistema de satélites de comunicación móviles vía satélite no militar en todo el mundo. INMARSAT provee transmisión de teléfono, telex, datos, facsímil, servicios de salvamento y desastres a embarcaciones y comunidades costeras lejanas. INMARSAT fue establecido en 1979 como una consecuencia de lo convenido en la conferencia de 1975 por las principales naciones marítimas y cuyo objetivo es el de utilizar los satélites en los enlaces con embarcaciones en cualquier parte de los océanos.

El propósito de este capítulo es introducir a los conceptos fundamentales de los sistemas de comunicación para tener una mejor comprensión de los temas que serán analizados en esta tesis. En esencia, comunicación es la transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos. La información puede ser en forma analógica, tal como la voz humana, información sobre una imagen de video, música; o en forma digital, tales como números codificados en binario, información en base de datos. Toda esta información debe convertirse a energía electromagnética antes de que pueda propagarse por un sistema de comunicaciones electrónicas. En el campo de las comunicaciones es indispensable contar con técnicas de transmisión de señales para enviar o recibir información a través de diversos canales de comunicación, de una manera segura y confiable.

1.4. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Se conoce como espectro electromagnético al rango de frecuencias que son utilizadas para las comunicaciones en general, siendo continuo y sin separaciones entre una forma de radiación y otra, los límites establecidos son meramente arbitrarios.

En los sistemas de comunicación vía satélite y otras aplicaciones de telecomunicaciones se trabaja en las bandas más altas de frecuencia como son la súper alta frecuencia (SHF), y la banda de extremadamente alta frecuencia (EHF), y dentro de estas bandas existen límites de frecuencias como las que se encuentran mostradas en la tabla 1.2.

VLF (frecuencias muy bajas)	De 3Hz hasta 30kHz
LF (frecuencias bajas)	De 30kHz hasta 300kHz
MF (frecuencias medias)	De 300kHz hasta 3MHz
HF (frecuencias altas)	De 3 MHz hasta 30 MHz
VHF (frecuencias muy altas)	De 30 MHz hasta 300 MHz
UHF (frecuencias ultra altas)	De 300MHz hasta 3000MHz
SHF (frecuencias súper altas)	De 3GHz hasta 30 GHz
EHF (frecuencias extra altas)	De 30GHz hasta 300GHz

Tabla 1.2. Designación de frecuencias.

En la tabla 1.3 se muestran las bandas de frecuencias utilizadas para los servicios de comunicación vía satélite.

Denominación	Rango de frecuencias	Servicios satelitales usuales
VHF	30-300MHz	Mensajes
UHF	300-1000MHz	Militar, navegación, móviles
L	1-2 GHz	Móviles, difusión de audio, radiolocalización
S	2-4 GHz	Móviles, navegación
C	4-8 GHz	Fijo
X	8 -12 GHz	Militar
Ku	12-18 GHz	Fija, difusión de video
K	18-27 GHz	Fijo
Ka	27-40 GHz	Fijo, difusión de video, ínter satelitales
Ondas milimétricas	Mayor de 40 GHz	ínter satelitales

Tabla 1.3.. Frecuencias utilizadas en comunicación vía satélite

1.4.1 Banda base

El término banda base (Bb; Band base) se refiere a todas las frecuencias de información a transmitir y recibir. En el caso de radiocomunicaciones, la señal de Bb constituye la fuente de información que modula el transmisor. Cuando una transmisión comprende una modulación múltiple, se considera que la Bb es la banda ocupada por la señal que se aplica a la primera etapa de modulación y no la banda ocupada por la señal modulada intermedia.

1.5. ANCHO DE BANDA

El ancho de banda (Bw; Band with) de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínima (rango de frecuencias) requerida para propagar la información de la fuente a través del sistema. El Bw de un sistema de comunicaciones debe ser lo suficientemente grande (ancho) para pasar todas las frecuencias significativas de la información

Antes de la modulación se expresa como la banda comprendida entre la frecuencia superior y la inferior de un canal de comunicaciones. En el sistema analógico se expresa como dos veces la frecuencia de información.

Para una señal de datos de un sistema digital el Bw se refiere al espacio que necesita una señal de comunicación para transmitirse en un medio, y se define mediante la siguiente ecuación:

$$Bw = V_{in} (FEC)^{-1} (FM) (1 + \text{Roll off}) \quad [\text{Hz}] \quad (1.1)$$

Donde:

V_{in}: velocidad de transmisión

FEC: factor debido al código de corrección de errores por adelantado

FM: factor de modulación, su valor depende de la modulación empleada

Roll off: factor de ensanchamiento del espectro (característica del filtro del MODEM, aproximadamente 14%)

Para obtener el factor de modulación se debe saber el tipo de modulación a emplear:

Entre los tipos más comunes de modulación se tiene que:

- Si la modulación es BPSK, FM = 1.0
- Si la modulación es QPSK, FM = 0.5

1.6. CAPACIDAD DE INFORMACIÓN

La capacidad de información I de un sistema de comunicaciones es una medida de cuánta información de la fuente puede transportarse por el sistema, en un periodo dado de tiempo. La cantidad de información que puede propagarse a través de un sistema de transmisión es una función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión.

La relación entre el ancho de banda, tiempo de transmisión y capacidad de información fue desarrollada en 1920 por R. Hartley de los Laboratorios Bell. De manera sencilla la ley de Hartley es:

$$I \propto B_w \times t \quad (1.2)$$

en donde I = capacidad de información
 B_w = ancho de banda (Hz)
 t = tiempo de transmisión (segundos)

La relación 1.2 muestra que la capacidad de información es una función lineal y directamente proporcional al ancho de banda del sistema y al tiempo de transmisión. Si se modifica el ancho de banda o el tiempo de transmisión, ocurrirá un cambio directamente proporcional en la capacidad de información.

Se requiere aproximadamente 3 KHz de ancho de banda para transmitir señales telefónicas con calidad de voz. Se requieren mas de 200 KHz de ancho de banda para transmisión de FM comercial de música de alta fidelidad y se necesita casi 6 MHz de ancho de banda para las señales de televisión con una calidad de radiodifusión (es decir, cuando mayor sea la cantidad de información por unidad de tiempo, mayor será la cantidad del ancho de banda requerida).

1.6.1 Limite de Shannon para la capacidad de información

En 1948, C. E. Shannon (también de los Laboratorios de Teléfonos Bell), publicó un artículo en la revista Bell System Technical Journal relacionando la capacidad de información de un canal de comunicación al ancho de banda y a la relación señal-a-ruido. Matemáticamente, el *limite de Shannon para la capacidad de información* es

$$I = B \log_2 (1 + S/N) \quad (1.3)$$

$$I = 3.32 \log_{10} (1+S/N) \quad (1.4)$$

en donde I = capacidad de información
 B = ancho de banda (Hz)
 S/N = relación de potencia señal-a-ruido (sin unidades)

1.7. MODOS DE TRANSMISIÓN

Los sistemas de comunicaciones electrónicas pueden diseñarse para manejar la transmisión solamente en una dirección, en ambas direcciones pero solo uno a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. Estos se llaman *modos de transmisión*. Cuatro modos de transmisión son posibles: *simplex*, *half-duplex*, *full-duplex* y *full/full-duplex*.

Simplex (SX). Con la operación simplex, la transmisión de datos no se puede dirigir; la información se puede enviar en una sola dirección. Las líneas simplex, también se llaman *líneas sólo para recibir, sólo para transmitir o de un solo sentido*. La televisión comercial y sistemas de radio son ejemplos de transmisión simplex.

Half duplex (HDX). En el modo half duplex. La transmisión de datos es posible en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. Las líneas half duplex también se llaman de dos sentidos alternados o líneas de cualquier sentido. El sistema de radar es un ejemplo de sistema half duplex.

Full duplex (FDX). En el modo de full duplex las transmisiones son posibles en ambas direcciones simultáneamente, pero deben estar entre las mismas dos estaciones. Las líneas full duplex, también se llaman de dos sentidos simultáneas, duplex o líneas de dos sentidos. Un sistema telefónico estándar es un ejemplo de transmisión de full duplex.

Full/full duplex (F/FDX). En el modo F/FDX, la transmisión es posible en ambas direcciones al mismo tiempo, pero no entre las mismas dos estaciones (es decir, una estación esta transmitiendo a una segunda estación y recibiendo de una tercera estación al mismo tiempo). F/FDX es posible sólo en los circuitos de multipunto. El sistema postal de EUA, es un ejemplo de transmisión full/full duplex.

1.8. ANÁLISIS DE SEÑALES

Cuando se diseñan los circuitos para comunicaciones electrónicas, frecuentemente es necesario analizar y predecir el funcionamiento del circuito basándose en la distribución de potencia y la composición de frecuencia de la señal de información. Esto se realiza con una herramienta matemática llamada *análisis de señales*.

1.8.1 Señales senoidales

En esencia, el análisis de señales es el análisis matemático de la frecuencia, el ancho de banda y el nivel de voltaje de una señal. Las señales eléctricas son variaciones de voltaje (o corriente) con respecto al tiempo que pueden representarse por una serie de ondas seno o coseno. Matemáticamente, la forma de una onda de voltaje de frecuencia sencilla o de una corriente es

$$v(t) = V \text{sen} (2\pi ft + \theta) \quad \text{ó} \quad v(t) = V \text{cos} (2\pi ft + \theta) \quad (1.5)$$

$$i(t) = I \text{sen} (2\pi ft + \theta) \text{ ó } i(t) = I \text{cos} (2\pi ft + \theta) \quad (1.6)$$

en donde

- $v(t)$ = onda de voltaje que varía senoidalmente o cosenoidalmente con el tiempo
- $i(t)$ = onda de corriente que varía senoidalmente o cosenoidalmente con el tiempo
- V = voltaje pico (volts)
- f = frecuencia (hertz)
- θ = fase (radianes)
- I = corriente pico (amperes)
- $2\pi f$ = ω = velocidad angular (radianes por segundo)
- t = tiempo

Las fórmulas anteriores son para una forma de onda repetitiva de frecuencia sencilla. Así una forma de onda se llama *periódica* porque se repite en un rango uniforme (es decir, cada ciclo sucesivo de la señal tiene exactamente la misma duración de tiempo y exactamente las mismas variaciones de amplitud que cualquier otro ciclo, cada ciclo tiene exactamente las mismas variaciones de amplitud que cualquier otro ciclo, cada ciclo tiene exactamente la misma forma). En realidad, cuando se analiza el funcionamiento de un sistema es frecuentemente necesario cambiar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

1.8.2. Ondas periódicas no senoidales

Para analizar una forma de onda no senoidal es necesario utilizar una herramienta matemática llamada series, la cual fue desarrollada en 1826 por el físico francés, barón Jean Fourier. A estas series se les llama apropiadamente las *series de Fourier*.

Las series de Fourier. Estas series se usan en el análisis de las señales para representar a los componentes senoidal de una onda periódica no senoidal (es decir, cambiar una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia). En general, una serie de Fourier puede escribirse para cualquier función periódica como una serie de términos que incluyen funciones trigonométricas con la siguiente expresión matemática:

$$f(t) = A_0 + A_1 \cos \alpha + A_2 \cos 2\alpha + A_3 \cos 3\alpha + \dots + A_n \cos n\alpha \\ + B_1 \text{sen } \beta + B_2 \text{sen } 2\beta + B_3 \text{sen } 3\beta + \dots B_n \text{sen } n\beta \quad (1.7)$$

en donde $\alpha = \beta$

La ecuación 1.7 afirma que la forma de onda $f(t)$ consiste de un valor promedio (cd) (A_0), una serie de funciones coseno, en las cuales cada término sucesivo tiene una frecuencia del primer término coseno en la serie, y una serie de funciones seno en las cuales cada término sucesivo tiene una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia del primer término seno en la serie. La ecuación 1.7 se expresa en palabras de la siguiente manera: una *forma de onda periódica* consiste de un componente promedio y una serie de armónicas de ondas seno y coseno relacionadas. Una armónica es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. La *frecuencia fundamental* es la *primera armónica* y es igual a la frecuencia (rango de repetición) de la forma de onda. La frecuencia

fundamental es la mínima cantidad de frecuencia necesaria para representar una forma de onda. Por lo que la ecuación 1.7 puede describirse como

$$f(t) = cd + \text{fundamental} + 2^{\text{a}} \text{ armónica} + 3^{\text{a}} \text{ armónica} + \dots + n \text{ armónica} \quad (1.8)$$

1.8.3. Simetría de la onda

Sencillamente, la *simetría de la onda* describe la simetría de una forma de onda en el dominio del tiempo, es decir, su posición relativa con respecto a los ejes horizontal (tiempo) y vertical (amplitud).

Simetría par. Si una forma de onda con voltaje periódico es simétrica en el eje vertical, se dice que tiene simetría axial o de espejo y se llama una función par. Para todas las funciones pares, los coeficientes de B en la ecuación 1.7 son cero. Por lo que una onda coseno es una función par, así mismo simplemente contiene un componente de cd y los términos coseno. La suma de una serie de funciones pares es una función par. Las funciones pares satisfacen la condición

$$f(t) = f(-t) \quad (1.9)$$

La ecuación anterior afirma que la magnitud y la polaridad de la función en $+t$ es igual a la magnitud y la polaridad en $-t$. Una forma de onda que contiene sólo funciones pares es mostrada en la figura 1.2.

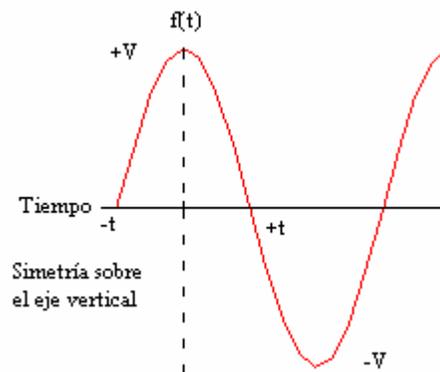


figura 1.2. forma de onda de la simetría par

Simetría impar. Si una forma de onda de voltaje periódico es simétrica sobre una línea a la mitad de los ejes vertical y horizontal negativo (es decir, los ejes en el segundo y cuarto cuadrante) y pasa por el origen de la coordenada, se dice que tiene una simetría de punto oblicuo y se llama una función impar. Para todas las funciones impares, los coeficientes A en la ecuación 1.7 son cero. Por lo tanto, la señal simplemente contiene una componente de cd y los términos seno (observe que una onda seno es una función impar). La suma de una serie de funciones impares es una función impar. Esta forma debe reflejarse primero en el eje Y y después en el eje X por superposición. Por lo tanto

$$f(t) = -f(-t) \quad (1.10)$$

La ecuación anterior afirma que la magnitud de la función $+t$ es igual al negativo de la magnitud en $-t$ (es decir, igual en magnitud pero opuesto en signo). Una forma de onda periódica que contiene sólo las funciones impares es mostrada en la figura 1.3.

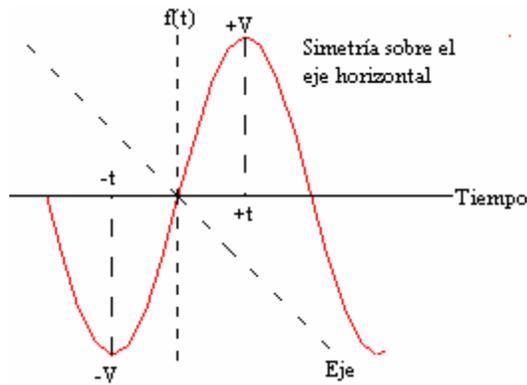


Figura 1.3. Forma de onda de la simetría impar

Simetría de media onda. Si una forma de onda de voltaje periódico es tal que la forma de onda para la primera mitad de ciclo ($t = 0$ a $t = T/2$) se repite a sí misma, excepto con el signo opuesto para la segunda mitad del ciclo ($t = T/2$ a $t = T$), se dice que tiene simetría de media onda. Para todas las formas de onda con simetría de media onda, las armónicas pares en la serie para los términos seno y coseno son cero. Por lo tanto, las funciones de media onda satisfacen la condición

$$f(t) = -f\left(\frac{T}{2} + t\right) \quad (1.11)$$

Una forma de onda periódica que exhibe simetría de media onda se muestra en la figura 1.4. Debe observarse que una forma de onda puede tener media onda así como simetría par o impar al mismo tiempo.

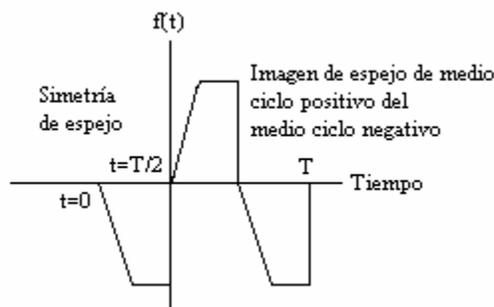


Figura 1.4. Forma de la simetría de media onda

Los coeficientes A_0 , B_n y A_n pueden evaluarse usando las siguientes fórmulas integrales:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1.12)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt \quad (1.13)$$

$$A_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt \quad (1.14)$$

1.9. TIPOS DE RUIDO

El ruido eléctrico se define como cualquier energía eléctrica no deseada presente en la pasa banda útil de un circuito de comunicaciones. La figura 1.x muestra el efecto que el ruido tienes sobre una señal eléctrica. La figura 1.5a enseña una señal perfecta sin ruido y la figura 1.5b muestra la misma señal excepto que con la presencia de ruido. Como se muestran las figuras, la señal que ha sido contaminada con ruido es distorsionada y obviamente contiene otras frecuencias además de la original.

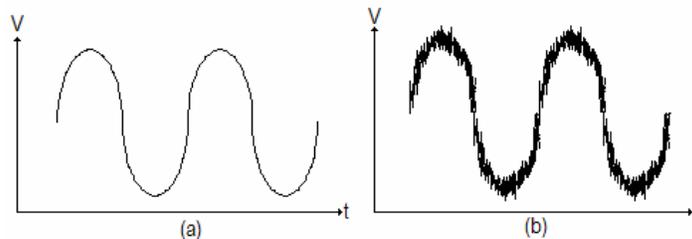


Figura 1.5 Los efectos del ruido sobre una señal: (a) señal sin ruido; (b) señal con ruido

1.9.1. Ruido blanco

Además de los resistores térmicos, muchos otros tipos de fuentes de ruido son gaussianos y tienen una densidad espectral plana sobre un intervalo amplio de frecuencias. Tal espectro tiene todos los componentes de frecuencia en igual proporción y se le designa en forma correcta como ruido blanco. Por analogía con la luz blanca.

La densidad espectral del ruido blanco se escribe en general como,

$$1(f) = \eta/2 \quad (1.15)$$

Donde el factor en apariencia extraño $1/2$ se incluye para indicar que asocia la mitad de la potencia con la frecuencia positiva y la mitad con la frecuencia negativa. En la figura 1.6 (a) y (b). se muestra este factor

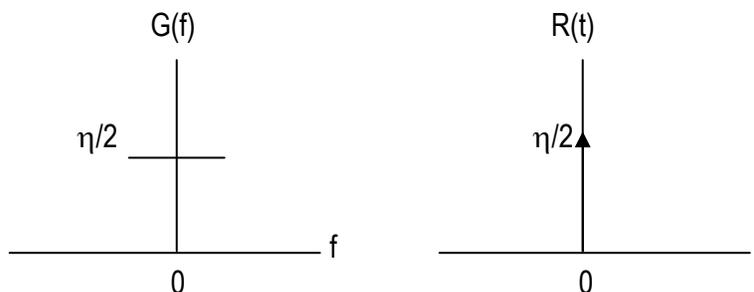


Figura 1.6 (a) densidad espectral de potencia (b) auto correlación

En forma alterna η es la densidad de potencia de frecuencia positiva. Puesto que se conoce $G(f)$, la función de auto correlación se obtiene inmediatamente por la transformación de Fourier

$$R(t) = \int \eta/2 e^{j\omega t} df = \eta/2 \delta(t) \quad (1.16)$$

En forma matemática el ruido gaussiano, es el resumen de los diferentes e inesperados. Es el menos precedible y él más original de los sonidos. Sin embargo, a un ser humano todos los sonidos del ruido blanco gaussiano le son iguales. Sus sutilezas se le esconden y dice que él es pesado y monótono.

El valor de n depende de dos factores: el tipo de la fuente de ruido y el tipo de densidad espectral, es decir, el valor rms o la potencia disponible. Si la fuente es un resistor térmico, entonces

$$\eta_v = 4RkF \quad \eta_i = 4kF/R \quad \eta_o = kF \quad (1.17)$$

Donde el tipo de densidad espectral se indica por medio de subíndices. Otras fuentes de ruido blanco no son térmicas en el sentido de que la potencia disponible no esta relacionada con la temperatura.

El modelo de ruido blanco resulta razonable siempre y cuando se relacione con la salida de un filtro y la densidad espectral sea más menos constante sobre la banda de paso, una situación muy común en sistemas de comunicación. Para el estudio del ruido blanco filtrado – o filtración de señales aleatorias en general – la relación de espectros de potencia de entrada y salida

$$G_y(f) = |H(f)|^2 G_x(f) \quad (1.18)$$

Donde $H(f)$ es la función de transferencia del filtro

El ruido blanco es generado por el movimiento de los átomos y los electrones en cualquier equipo electrónico. La potencia de este ruido es directamente relacionada con al ancho de banda. De este modo, se aconseja un limite de ancho de banda de un receptor es muy factible: el ancho de banda bajo, la baja potencia de ruido. La potencia promedio de ruido es también es relacionado directamente a la temperatura de la resistencia. La potencia de ruido puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$P_n = kT (BW) \quad (1.19)$$

Donde:

$k =$ constante de proporcionalidad de Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)

$T =$ temperatura en grados Kelvin ($^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273^\circ$)

$B_w =$ ancho de banda en H

1.9.2. Ruido de impulso

La figura 1.7. muestra un método para la medición de respuesta al impulso $h(t)$ de un sistema dad. El instrumental que se requiere es una fuente de ruido blanco, un retardador de tiempo variable, un multiplicador y un dispositivo promediante.

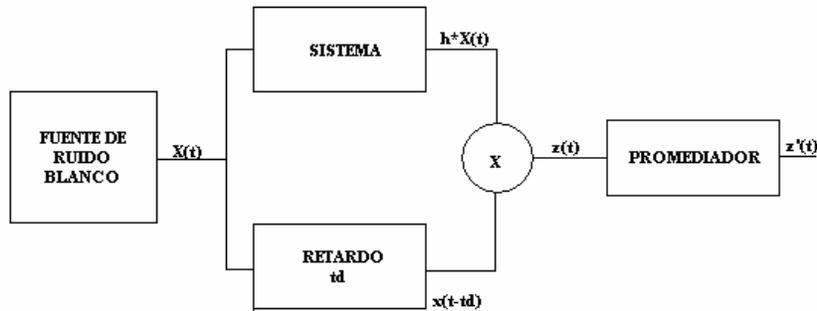


Figura 1.7. Medición de la respuesta al impulso, empleando ruido blanco

Denotando al ruido de entrada como $x(t)$, la salida del sistema será $h*x(t)$, y la señal retardada $x(t-t_d)$. Así, la salida del multiplicador será

$$Z(t) = x(t-t_d)[h*x(t)] = x(t-t_d) \int h(\lambda) x(t-\lambda) d\lambda \quad (1.20)$$

Para muchas definiciones de filtros, hay muchos sistemas, tales como procesamiento industrial y sistemas de control, para los cuales no se puede dar una entrada impulsiva, si así se hace, podría dañar o destruir al sistema.

El ruido de impulso se caracteriza por tener largos intervalos por estallidos de alta amplitud de pulsos. Este tipo de ruido es de un doble switchero, descargas de luz, y accidentales choques que duran mientras se procesa la operación. La característica del ruido de impulso es mucho más difícil que el ruido Gaussiano. También, técnicas de modulación análoga no son como los métodos de codificación digital de tráfico para fenómenos de impulso de ruido. Por estas razones los efectos del ruido de impulso son incluidos en el modelo de la porción discreta del canal y solo el ruido Gaussiano es incluido en el modelo de la porción análoga del canal. En la figura 1.8. se muestra la porción análoga de canales de comunicación.

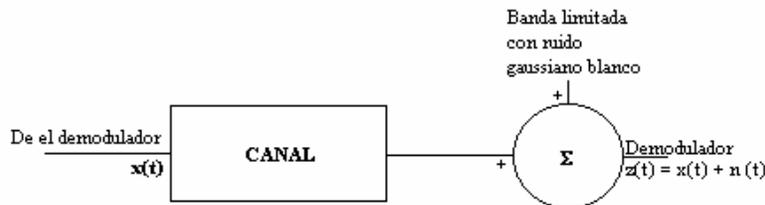


Figura 1.8. Porción análoga de canales de comunicación

1.9.3 Ruido de intermodulación

El ruido de intermodulación son las frecuencias no deseadas del producto cruzado (suma y diferencias) creadas cuando dos o más señales son amplificadas en un dispositivo no lineal, tal como un amplificador de señal grande. Como con la distorsión armónica, hay varios grados de distorsión de intermodulación. Sería imposible medir todos los componentes de intermodulación producidos cuando dos o más frecuencias se mezclan en un dispositivo no lineal. Por lo tanto, para propósitos de comparación, un método común usado para medir la distorsión de intermodulación es

el porcentaje de distorsión de intermodulación de segundo orden. La distorsión de intermodulación de segundo orden es la relación de amplitud total en rms de los productos cruzados de segundo orden con la amplitud rms combinada de las frecuencias de entrada original. Generalmente, para medir la distorsión de intermodulación de segundo orden, se usan cuatro frecuencias de prueba; dos frecuencias designadas como la banda A (f_{a1} y f_{a2}) y dos de banda B (f_{b1} y f_{b2}). Los productos cruzados de segundo orden (2A-B) son $2f_{a1} - f_{b1}$, $2f_{a1} - f_{b2}$, $2f_{a2} - f_{b1}$, $2f_{a2} - f_{b2}$, $(f_{a1} + f_{a2}) - f_{b1}$, y $(f_{a1} + f_{a2}) - f_{b2}$. Matemáticamente, el porcentaje de la distorsión de la intermodulación de segundo orden (% IMD de 2° orden) es:

$$\% \text{ IMD de } 2^\circ \text{ orden} = \left(\frac{V_{\text{producto cruzado de } 2^\circ \text{ orden}}}{V_{\text{original}}} \right) \times 100 \quad (1.21)$$

en donde:

$V_{\text{producto cruzado de } 2^\circ \text{ orden}}$ = suma cuadrática de las amplitudes rms de las frecuencias de producto cruzado de 2° orden.

V_{original} = suma cuadrática de las amplitudes rms de las frecuencias de entrada.

1.10. GENERACIÓN DE SEÑALES

Los sistemas modernos de comunicaciones electrónicas tienen muchas aplicaciones que requieren de las formas de ondas repetitivas (tanto sinusoidal y no sinusoidal) que sean estables. En muchas de estas aplicaciones, se requieren mas de una frecuencia, y frecuentemente estas frecuencias deben estar sincronizadas entre sí. Por lo tanto, *la generación de señales, la sincronización de frecuencia, y síntesis de frecuencias* son partes esenciales de un sistema de comunicación electrónica.

1.10.1 El Oscilador

La *oscilación* se define como la fluctuación entre dos estados o condiciones. Por lo tanto, oscilar es vibrar o cambiar, y oscilando es el acto de fluctuar entre un estado y otro. Un oscilador es un aparato que produce oscilaciones (o sea, genera una forma de onda repetitiva). Los osciladores tienen muchas aplicaciones dentro de las comunicaciones electrónicas, como portadoras de alta frecuencia, alimentadores de pilotos, relojes y circuitos de sincronización.

En aplicaciones electrónicas, un oscilador es un dispositivo o circuito que produce oscilaciones eléctricas. Una oscilación eléctrica es un cambio repetitivo de una forma de onda de voltaje o de corriente. Si un oscilador es autosuficiente, los cambios en la forma de la onda son continuos y repetitivos; ocurren a intervalos periódicos. A un oscilador autosuficiente también se le llama un oscilador de operación independiente. Los osciladores que no son autosuficientes requieren de una señal de entrada externa o un disparador para producir un cambio en la forma de onda de salida. A estos osciladores se les llama osciladores de disparo u osciladores de un solo tiro.

1.10.2. El sonido

La energía puede propagarse a través del espacio y de la materia por medio de vibraciones. El sonido, la luz, las ondas de radio. Esto es, se comportan como movimientos ondulatorios.

El movimiento ondulatorio se considera como un movimiento periódicamente repetitivo con respecto a la unidad de tiempo.

El sonido es el fenómeno producido por la vibración de un cuerpo y se propaga a través de un medio elástico como sería el aire, el agua, los metales, etc., pero no se propaga en el vacío; es el fenómeno físico que percibimos con el sentido del oído y es el resultado de tres fenómenos sucesivos:

- a) *Su transmisión.*- Por un medio elástico.
- b) *Su recepción.*- Por el oído.
- c) *Su producción.*- Por el movimiento vibratorio de un cuerpo sonoro.

Todo sonido es producido por el movimiento vibratorio de un cuerpo. Una fuente típica de sonido es la de "diapasón", que consiste en una pequeña barra de acero en forma de horquilla. Si se golpea uno de los extremos del diapasón, como se muestra en la figura 1.9., éste entra en vibración y emite un sonido característico. En el movimiento hacia adentro del diapasón se origina una expansión o sea una refracción del aire; inmediatamente le sigue un movimiento hacia fuera durante el cual se origina una compresión del aire. Entonces se forman zonas de compresión y de expansión, que se desplazan en dirección opuesta a la fuente. A éstas se les denomina "ondas sonoras" por la semejanza que tienen con las ondas que se forman en la superficie de un líquido.

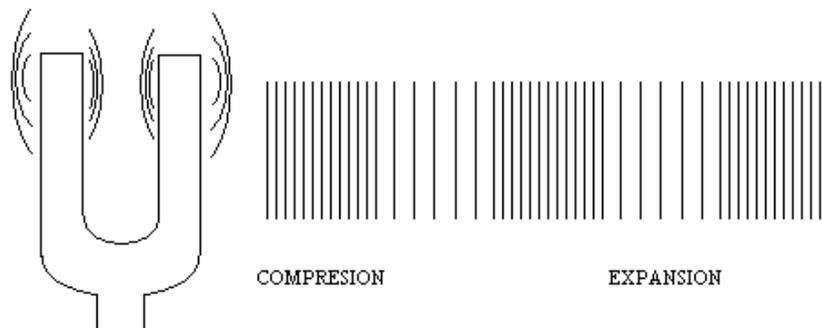


Figura 1.9. Compresión expansión

El sonido se propaga con movimiento uniforme a través de medios elásticos y su velocidad depende de la densidad del medio, a mayor densidad mayor velocidad del sonido.

Como los gases son menos densos que los líquidos, y éstos a su vez menos densos que los sólidos, la velocidad de propagación de un sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y al mismo tiempo, ésta es mayor, que en un medio gaseoso.

Las características fundamentales del sonido son tres:

a) Amplitud o intensidad (fuertes, débiles).

Intensidad es la energía que posee el sonido, o sea su fuerza. Por su intensidad los sonidos se dividen en sonidos fuertes o sonidos débiles según la fuerza con que impresionen nuestro oído.

b) Frecuencia o tono (graves, agudos).

Tono es la característica por la cual los sonidos nos parecen graves o agudos; esto depende del número de vibraciones por segundo, o sea la frecuencia. Los sonidos se dividen, por su tono en bajos o graves si son de baja frecuencia y en altos o agudos si son de alta frecuencia.

c) Forma o timbre.

Timbre es la característica que distingue dos sonidos de igual intensidad y del mismo tono generados por dos fuentes sonoras distintas. Esta diferencia depende del hecho de que un sonido producido por una fuente sonora está constituido por una suma de varios sonidos, uno llamado "fundamental" y otros que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y son llamados "armónicas".

La longitud de onda (λ) de una onda de sonido, es la distancia desde un punto donde comienza la onda hasta donde comienza la siguiente onda.

La frecuencia de una onda de sonido está definida como el número de ondas repetidas por unidad de tiempo, y es medida en ciclos por segundo o hertz (Hz).

Por el rango de frecuencia, se percibe el sonido agudo y el sonido grave, y por la amplitud e intensidad se siente la magnitud del sonido.

El oído humano solamente puede escuchar sonidos comprendidos entre 20 y 20,000 Hz, y éste se denomina "El rango de frecuencia audible". Los sonidos por debajo de los límites se les conoce como infrasonidos; y arriba del límite se les llaman ultrasonidos.

En cualquier punto del espacio lleno de aire, delante de una persona que habla, podemos comprobar la existencia de las ondas sonoras de la voz sin utilizar el oído, ya que éstas se manifiestan como variaciones de la presión atmosférica en el espacio. Las variaciones de la presión pueden comprobarse mediante una membrana colocada en ángulo recto contra el sentido de propagación del sonido. La membrana se encorvará entonces bajo la influencia de las variaciones de la presión, a un lado u otro, transformándose la energía acústica en mecánica y con dispositivos adecuados, puede comprobarse que estos movimientos corresponden a las amplitudes y frecuencias de la palabra.

1.10.3. La voz.

Cuando hablamos, se origina por medio de una colaboración íntima entre los pulmones, las cuerdas bucales y la cavidad bucal una serie de ondas sonoras que se propagan a través del espacio lleno de aire que nos rodea, hasta llegar al tímpano, quien al también vibrar, decodifica las variaciones convirtiéndolas en impulsos electrónicos que viajan hacia el cerebro.

En la telefonía se calcula que una reproducción aceptable de la voz se obtiene con una banda de 300 a 3400 Hz, lo cual significa que estas frecuencias son las más adecuadas para entender el habla.

La señal de audio consiste en las señales eléctricas que corresponden ya transformadas al sonido que se esté considerando (a través de un transductor).

Las características de cualquier dispositivo que maneje la señal de audio, deberán de manejar todos los parámetros de dicha señal en forma transparente, esto es sin distorsión alguna; y a esto se le conoce como un dispositivo de alta fidelidad.

1.11. TIPOS DE MODULACIÓN

La modulación es el proceso por el cual las características de una señal se modifica para representar una señal analógica o digital, de tal forma que puedan viajar grandes distancias. La modulación también se puede definir como la reunión de operaciones que transforman un mensaje dado en una serie de señales que deben ser aplicadas a un cierto canal de transmisión (por medio de la voz, por medio óptico, electromagnético, por conductor o por enlace Hertziano, etc...)

Algunas de las razones existentes que se consideran importantes para modular una señal son:

- Facilidad de radiación
- Asignación de canales
- Transmisión múltiplex
- Reducción de ruido e interferencia
- Superar las limitaciones del equipo para una transmisión eficiente

Así también dependiendo de las características señal-mensaje del canal, de la respuesta que desea obtener del sistema total de comunicaciones, del uso de los datos transmitidos y de los factores económicos, es como se aplican las diferentes técnicas existentes para modular una señal, las cuales ayudan a seleccionar el tipo de modulación que deberá aplicarse.

Los dos tipos básicos de modulación analógica son:

- Modulación de onda continua
- Modulación por pulsos

Hay dos tipos básicos de modulación de onda continua:

- Modulación lineal
- Modulación angular

En la modulación por onda continua un parámetro de la portadora varia en proporción con la señal mensaje o moduladora, de tal manera que deberá existir una correspondencia uno a uno entre el parámetro y la señal mensaje. Cuando la amplitud se encuentra linealmente relacionada con la señal moduladora, el resultado será una modulación lineal (modulación de amplitud). Cuando la fase y la

frecuencia están linealmente relacionadas con la señal moduladora en forma colectiva se conoce como modulación angular (modulación en frecuencia o en fase).

1.11.1 Modulación de amplitud

Es un proceso que consiste en variar la amplitud de una onda portadora de RF en función de la tensión moduladora. La amplitud de la onda portadora varía linealmente con los valores que toma la señal moduladora, que está formada espectralmente por una banda de audiofrecuencias (generalmente) como es el caso de las señales de voz o musicales. El carácter distintivo de la onda de AM radica en que la envolvente de la portadora modulada tiene la misma forma que la de la onda del mensaje. Para simplificar el análisis se considera la señal moduladora constituida por un solo tono de audio.

Consideramos una onda portadora de radiofrecuencia dada por:

$$v_c = V_c \text{ sen } \omega_c t \quad (1.22)$$

donde:

$\omega_c = 2\pi f_c$ y f_c es la frecuencia de la portadora

Si la señal moduladora se describe como:

$$v_m = V_m \text{ sen } \omega_m t \quad (1.23)$$

donde:

$\omega_m = 2\pi f_m$ y f_m es la frecuencia de la señal de audio, entonces puede verse en la figura 2.8 que la amplitud de la portadora modulada varía senoidalmente entre los valores de $(V_c + V_m)$ y $(V_c - V_m)$

Si consideramos a la relación $V_m/V_c = m$ como el índice de modulación, entonces $V_m = mV_c$, y la fórmula que expresa la señal modulada es:

$$v_c = (V_c + V_m \text{ sen } \omega_m t) \text{ sen } \omega_c t \quad (1.24)$$

ó

$$v_c = V_c \text{ sen } \omega_c t + V_c \text{ sen } \omega_c t * \text{ sen } \omega_m t \quad (1.25)$$

Como:

$$\text{sen } \omega_c t * \text{ sen } \omega_m t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] \quad (1.26)$$

De donde al sustituir:

$$v_c = V_c \text{ sen } \omega_c t + (mV_c/2)\cos(\omega_c - \omega_m)t - (mV_c/2)\cos(\omega_c + \omega_m)t \quad (1.27)$$

La última ecuación muestra que una onda de AM tiene tres componentes frecuenciales. La frecuencia del primer término es la frecuencia de la portadora, la correspondiente al segundo término es la frecuencia lateral inferior, y el último término la frecuencia lateral superior. En la figura 1.10 se muestra la forma de una onda de AM.

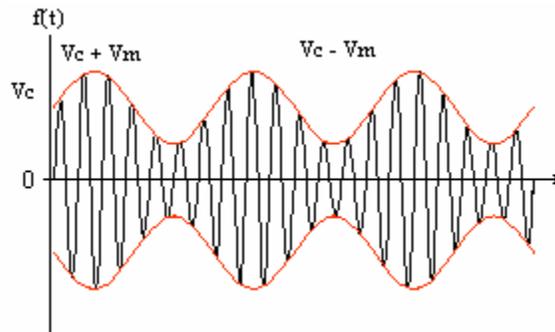


Figura 1.10. Onda de AM

1.11.2 Modulación en frecuencia

En competencia con la modulación en amplitud, algunos sistemas utilizan modulación angular debido a la inmunidad de los mismos, frente a las variaciones de amplitud de ruido. En la modulación angular se varía la fase instantánea de la onda portadora. Algunos ejemplos típicos de la utilización de FM son las radiodifusiones VHF, las comunicaciones por satélite y el radar de FM.

El proceso consiste en variar la frecuencia de una onda portadora proporcionalmente a una señal moduladora. La amplitud de la portadora de una onda de FM es constante. Durante la modulación, la frecuencia de la portadora aumenta cuando la tensión de la moduladora se incrementa en valores positivos y disminuye cuando la tensión moduladora pasa por los valores negativos, como se muestra en la figura 1.11.

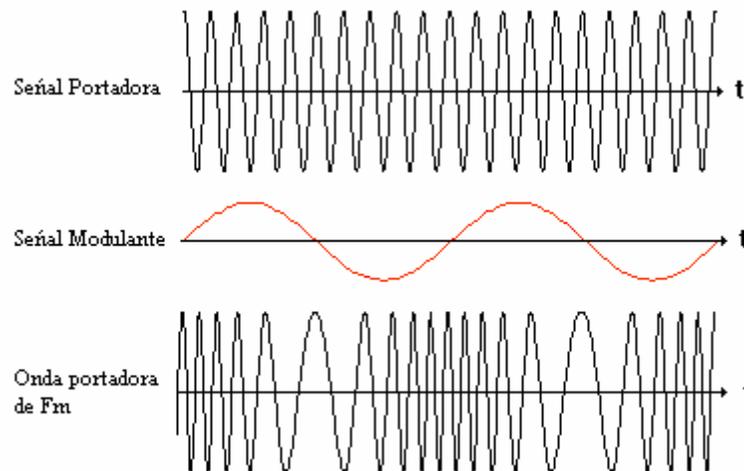


Figura 1.11. Onda de Fm

Para obtener la fórmula que represente una onda de FM supóngase que la onda portadora instantánea se representa por:

$$v_c = V_c \text{sen } \omega_i t = V_c \text{sen } 2\pi f_i t \quad (1.28)$$

Donde f_i es la frecuencia instantánea.

Para un incremento positivo de la frecuencia tenemos:

$$f_i = f_c + df_c \text{sen } \omega_m t \quad (1.29)$$

Donde f_c es la frecuencia portadora y df_c es la desviación de la frecuencia de la onda portadora producida por la señal moduladora de frecuencia f_m .

Si la fase instantánea de la portadora es Φ_i entonces:

$$\frac{1}{2} p(d\Phi_i/dt) = f_i = f_c + df_c \text{sen } \omega_m t \quad (1.30)$$

ó

$$d\Phi_i/dt = 2\pi f_i = \omega_c + 2\pi df_c \text{sen } \omega_m t \quad (1.31)$$

Integrando tenemos:

$$\Phi_i = \omega_c t - df_c / f_m \text{cos } \omega_m t \quad (1.32)$$

ó

$$\Phi_i = \omega_c t - df_c / f_m \text{cos } \omega_m t \quad (1.33)$$

Donde la relación $mf = df_c / f_m$ representa el índice de modulación

Como: $v_c = V_c \text{sen } \Phi_i$

Obtenemos:

$$v_c = V_c \text{sen}[\omega_c t - m f \text{cos } \omega_m t] \quad (1.34)$$

La ecuación (1.34) representa a una onda de FM.

Las modulaciones de frecuencia y fase son mucho más inmunes al ruido y mantienen la potencia de la señal portadora constante, independientemente de la señal moduladora; sin embargo, necesitan un mayor ancho de banda para su transmisión que la señal equivalente modulada en amplitud.

1.11.3 Modulación por pulsos

Los sistemas de modulación de pulsos se dividen en dos grandes grupos: los sistemas de modulación de pulsos analógicos y los sistemas de modulación de pulsos digitales

Dentro de los sistemas de modulación de pulsos analógicos se encuentran:

Modulación por amplitud de pulsos (PAM). La amplitud de un pulso de posición y ancho constante varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

Modulación por ancho de pulso (PWM). Técnica de modulación en la cual los pulsos son constantes en frecuencia y amplitud, pero varían en su anchura de acuerdo a la amplitud instantánea de la onda analógica.

Modulación por posición de pulsos (PPM). La posición de un pulso de ancho constante, dentro de una ranura de tiempo preescrita, varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

Modulación por frecuencia de pulsos (PFM). Método en el cual los valores instantáneos de voltaje de la onda analógica, se convierten en valores instantáneos de frecuencia con la ayuda de un convertidor V-F. En este caso, los intervalos de pulsos varían de acuerdo a las amplitudes de la señal original.

Para los sistemas de modulación de pulsos digitales podemos mencionar:

Modulación por número de pulsos (PNM). Modulación digital, en la cual se convierte la señal analógica a pulsos PWM, y con la ayuda de una compuerta AND genera un número de pulsos que van acorde al ancho de la señal PWM.

Modulación por codificación de pulsos (PCM). Es el proceso por el cual una onda continua se representa por una serie de palabras digitales codificadas. Cada palabra codificada en la serie representa cierto voltaje instantáneo de la onda analógica. En los sistemas de modulación digital, las amplitudes de las señales muestreadas son representadas con una alta precisión, a este proceso se le conoce como cuantización, y a excepción del ruido generado en esta parte, la señal es completamente discreta en términos de tiempo y amplitud.

El proceso de modulación PCM consta de tres funciones básicas que son: el muestreo, la cuantización y la codificación

La modulación por pulsos es el resultado que se obtiene cuando se muestra la señal y se usa una portadora de tren de pulsos. Un parámetro de cada pulso se varía en una correspondencia uno a uno con el valor de cada muestra.

Un ejemplo de estos tipos de modulación se encuentra en la figura 1.12.

En la modulación por amplitud de pulsos, la amplitud de un tren de pulsos digitales se varía en forma proporcional con la amplitud de la señal moduladora. Básicamente la amplitud de la señal moduladora es muestreada por el tren digital de pulsos, de acuerdo con el teorema de muestreo, que da la frecuencia mínima a que debe muestrearse aquella señal.

Una vez efectuado el muestreo de la señal analógica y en el cual hemos obtenido una señal PAM, el siguiente paso es la cuantización, cuyo objetivo es asignar un valor a cada señal, es decir, convierte los cambios de amplitud continuos de los pulsos PAM en valores numéricos discretos. Los cuantificadores asignan valores entre 1 y 128, o entre 1 y 256 a cada pulso PAM. Si el cuantificador asigna a la señal un máximo de 128 valores, cada muestra requerirá 7 bits (2^7). Si son 256 los valores posibles, cada muestra exigirá 8 bits (2^8).

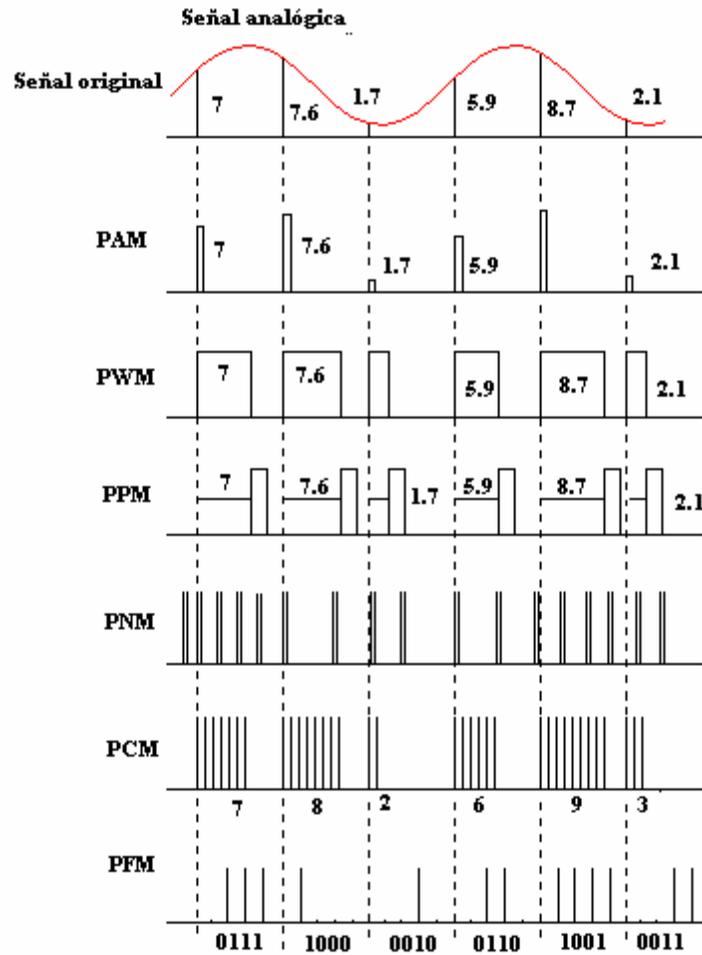


Figura 1.12 Tipos de modulación

El proceso de cuantización no representa con estricta exactitud la amplitud de la señal PAM, lo que genera el ruido conocido como ruido de cuantización. Como la distorsión de la señal a lo largo del proceso es proporcional al tamaño del escalón, una posible forma de resolver el problema será incrementar el número de escalones de cuantización posibles para representar la señal. Sin embargo, un número mayor de niveles de cuantización eleva el precio de los componentes y aumenta el número de bits necesarios para representar la señal. En cualquier caso, lo cierto es que el cuantizador de 128 escalones ha sido reemplazado en la actualidad por el de 256.

Una vez que los pulsos cuyas amplitudes se han convertido a valores discretos a través de la cuantización, son codificados en forma binaria, es decir, se representarán estos valores por medio de una cadena de bits. En el caso de las señales telefónicas y de televisión, estas se convierten en códigos binarios de 8 bits, los cuales pueden representar hasta 256 valores de amplitud.

En la tabla 1.4 se muestran los tres esquemas de codificación más usados, para un caso simple de tres dígitos

Nivel de cuantización	Código Gray	Código Binario natural	Código Binario doblado
0	000	000	011
1	001	001	010
2	010	011	001
3	011	010	000
4	100	110	100
5	101	111	101
6	110	101	110
7	111	100	111

Tabla 1.4. Esquemas de codificación

El código Gray tiene la característica de que cada código “adyacente” correspondiente a cada nivel de cuantización “vecino”, difiere uno de otro en un solo dígito. El código doblado se caracteriza por el hecho de que los dígitos del segundo al último dígito están doblados hacia el medio (000). Si se toma en cuenta que el primer dígito pudiera representar el signo de una señal (positiva o negativa), y los restantes el valor absoluto de esta, podríamos decir que este código es propio para representar señales bipolares.

La relación señal a ruido de cuantización S/N es utilizada para evaluar la codificación. El ruido de cuantización es inevitable en los sistemas de codificación digitales como el PCM. Como se mencionó anteriormente, la solución sería incrementando el número de niveles de cuantización, pero con esto se requeriría un ancho de banda de transmisión mayor.

Una vez decodificada la señal, recupera su amplitud original. Esta mezcla de compresión y expansión se le conoce como compasión.

Debido al avance que existe en la tecnología de las comunicaciones, se hace común usar frecuentemente técnicas de modulación digital, ya que al aplicar estas técnicas se logra minimizar algunos efectos, tales como el ruido y la interferencia.

1.11.4. Multiplexión

En los sistemas de transmisión, un número plural de señales generalmente son combinadas y transmitidas a través del mismo medio, tomando como referencia la base del tiempo, y además son convertidas a señales digitales de alta velocidad en el lado de transmisión. Por lo que se refiere a la parte de recepción, las señales multiplexadas son separadas para obtener las señales digitales originales. Se sabe que una información codificada consta de ráfagas de 0's y 1's, por lo que cuando hay presencia de 0's no hay información que transmitir en ciertos intervalos de tiempo. Esta es la característica utilizada para multiplexar varias señales en el dominio del tiempo y con esto lograr obtener altas velocidades de transmisión.

Hay varias formas en las que se puede realizar el proceso de multiplexión, pero los métodos más usados son la multiplexión por división de tiempo (TDM) y la multiplexión por división de frecuencia (FDM).

Multiplexión por División de Tiempo (TDM)

Esta técnica de multiplexación consiste en transmitir muestras de información de diferentes señales simultáneamente, a través de un mismo sistema de comunicación pero en diferentes intervalos de tiempo. El esquema típico de este mensaje se muestra en la figura 1.13. y en el cual se puede observar que varias señales a ser transmitidas son muestreadas secuencialmente y combinadas para su transmisión en un solo canal.

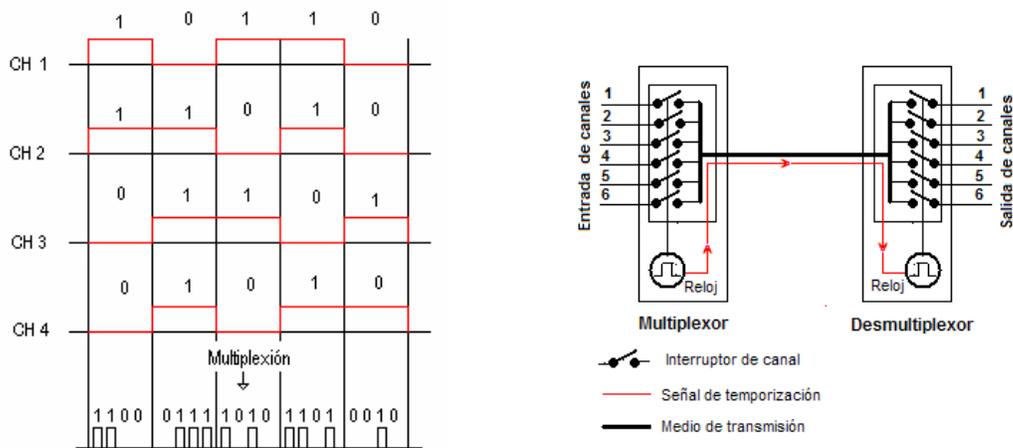


Figura 1.13 conjunto multiplexor-desmultiplexor por división de tiempo

En este circuito, simplificando mucho el proceso, las entradas de seis canales llegan a unos denominados interruptores de canal, los cuales se van cerrando de forma secuencial, controlados por una señal de reloj. De forma que cada canal es conectado al medio de transmisión durante un tiempo determinado por la duración de los impulsos de reloj.

En el extremo distante, el desmultiplexor realiza la función inversa, esto es, conecta el medio de transmisión, secuencialmente, con la salida de cada uno de los seis canales mediante interruptores controlados por el reloj del desmultiplexor. Este reloj del extremo receptor funciona de forma sincronizada con el del multiplexor del extremo emisor mediante señales de temporización que son transmitidas a través del propio medio de transmisión o por un camino independiente.

Multiplexión por División de Frecuencia (FDM)

La multiplexión por división de frecuencia, múltiples fuentes de información que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencias se convierten, cada una, a bandas de frecuencia diferentes y se transmiten simultáneamente en un solo medio de transmisión. Así muchos canales de banda relativamente angosta se pueden transmitir en un solo sistema de transmisión de banda ancha.

El FDM es un esquema de multiplexión analógica; en el cual la información que entra al multiplexor es analógica y permanece así en toda la transmisión. De este modo, en este sistema no se requiere ningún proceso de sincronización.

En la figura 1.14. se ejemplifica la multiplexión y demultiplexión por división de frecuencia para tres canales, cada uno de ellos con el ancho de banda típico del canal telefónico analógico (0.3 a 3.4 KHz).

En esta figura, se puede ver como la señal de cada uno de los canales modula a una portadora distinta, generada por su correspondiente oscilador (O-1 a O-3). A continuación, los productos de la modulación son filtrados mediante filtros paso banda, para seleccionar la banda lateral adecuada. En el caso de la figura se selecciona la banda lateral inferior. Finalmente, se combinan las salidas de los tres filtros (F-1 a F-3) y se envían al medio de transmisión que, en este ejemplo, debe tener una de banda de paso comprendida, al menos, entre 8,6 y 19,7 KHz.

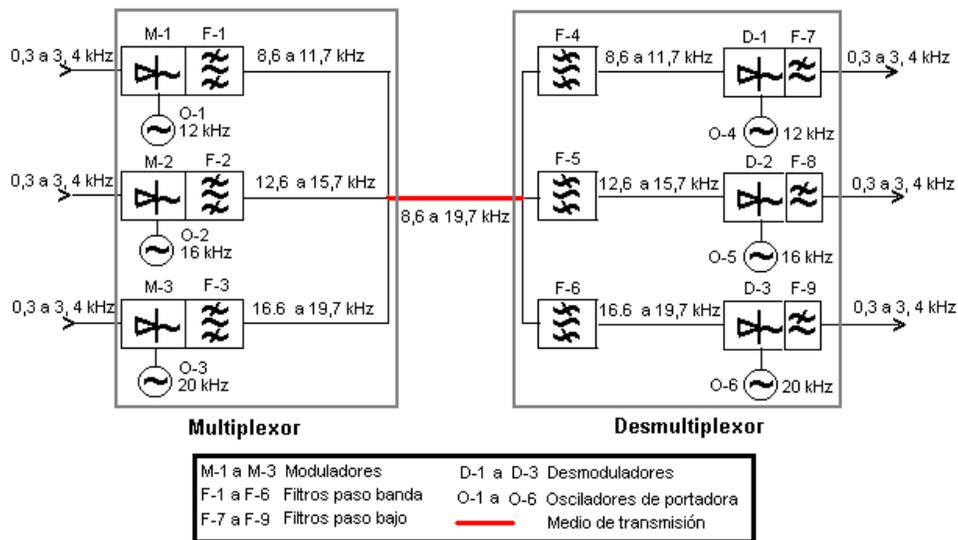


Figura 1.14. Circuito simplificado del conjunto multiplexor-desmultiplexor analógico

En el extremo distante, el desmultiplexor realiza la función inversa. Así, mediante los filtros F-4 a F-6, los demoduladores D-1 a D-3 (cuya portadora se obtiene de los osciladores O-4 a O-6) y finalmente a través de los filtros paso bajo F-7 a F-9, que nos seleccionan la banda lateral inferior, volvemos a obtener los canales en su banda de frecuencia de 0,3 a 3,4 KHz.

1.11.5. Modulación digital

Como ya se menciona, ante la importancia que tiene las comunicaciones digitales, y el enfoque que este trabajo tiene, solo se mencionaran algunas técnicas básicas de modulación digital. Se tiene que estas están divididas en dos grupos:

- Modulación coherente
- Modulación no coherente

Se llama coherente al sistema digital, sí esta disponible una referencia local de demodulación, que este en fase con la portadora transmitida. Si no sucede así al sistema se le llama no coherente.

Dentro de los sistemas coherentes se encuentran:

- Manipulación por corrimiento de fase (PSK; Phase-Shift keying)
- Manipulación por corrimiento de frecuencia (FSK; Frequency-Shift keying)
- Manipulación por corrimiento de amplitud (ASK; Amplitude-Shift Keying)

Un ejemplo de estos sistemas se ilustra en la figura 1.15. Dónde se muestran las señales generadas para la transmisión de los bits 1 y 0

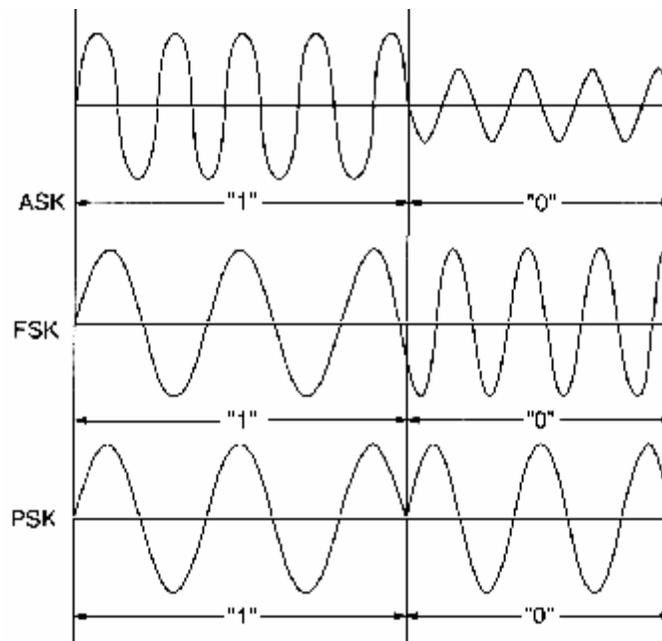


Figura 1.15. Esquemas de modulación

Dentro de la modulación por corrimiento de fase se encuentran:

- Modulación por corrimiento de fase binario (BPSK; Binary Phase-Shift Keying)
- Modulación por corrimiento de fase en cuadratura (QPSK; Quadrature Phase-Shift Keying)

Modulación por corrimiento de fase binario

Si consideramos un sistema de un pulso binario 0 y 1 que se usan para activar una onda senoidal de alta frecuencia con dos posibles fases, una por cada pulso, estaremos utilizando una modulación PSK binaria (BPSK).

En la figura.1.15. se muestra la representación vectorial de la modulación BPSK. Donde podemos ver que el vector correspondiente a 0 está a 0° y el vector correspondiente a 1 está a 180° .

En una modulación BPSK se representa un código binario mediante dos fases 0° y 180° .

En BPSK se utiliza la detección coherente ya que la amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes y lo único que varía es la fase, siendo en esta donde reside la información transmitida. La sincronización se logra al encadenarse o amarrarse el reloj del transmisor al reloj del receptor dentro de una fracción de un ciclo de la portadora.

Modulación por corrimiento de fase

Si consideramos un sistema en el cual se combinan dos pulsos binarios sucesivos y el resultado es el conjunto de cuatro pares binarios 00, 01, 10 y 11 que se usan para activar una senoidal de alta frecuencia con cuatro posibles fases, una por cada uno de los pares binarios, estaremos utilizando una modulación PSK cuaternaria (QPSK)

En la figura 1.16. se muestra la representación vectorial de la modulación QPSK. Donde podemos ver que el vector correspondiente a 00 esta a 0°, el vector 01 esta a 90°, el vector 11 esta a 180° y el vector 10 esta a 270°. Como consecuencia de esto notamos que un cambio de fase de 90° causa un bit de error.

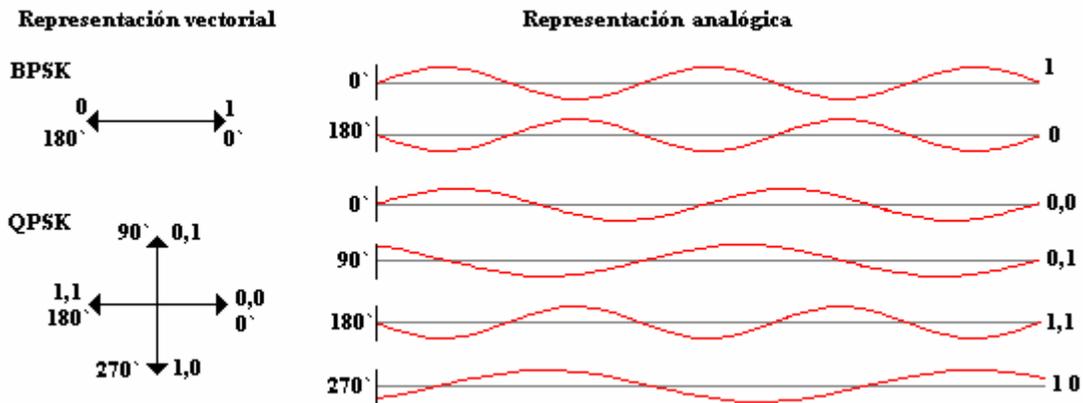


Figura 1.16. Modulación QPSK

Dentro de los sistemas no coherentes tenemos:

- Manipulación de fase diferencial, la cual se muestra en la figura 1.17.

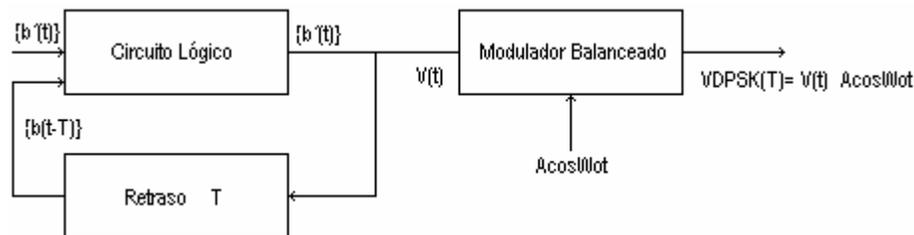


Figura 1.17. Manipulación de fase diferencial DPSK y método para generar una señal DPSK

1.12. CORRECCIÓN DE ERRORES

En un sistema de comunicaciones es inevitable que ocurran errores por las características no ideales de nuestro sistema, así que se hace necesario desarrollar e implementar procedimientos para el control de errores. Esencialmente, hay tres métodos de corrección de errores: sustitución de símbolos, retransmisión y seguimiento de corrección de un error.

1.12.1. Sustitución de símbolos

La sustitución de símbolos se diseñó para usarse bajo un ambiente humano, ya que un ser humano en la terminal de recepción, para analizar los datos recibidos y tomar decisiones sobre su integridad. Con la sustitución de símbolos, si un carácter se recibe con error, es sustituido por otro carácter que corresponda con la secuencia transmitida. En el caso de que el carácter erróneo no pueda distinguirse por el operador, este solicita la retransmisión por medio de una llamada.

1.12.2. Retransmisión

La retransmisión consiste en reenviar un mensaje cuando se recibe un error, y la terminal de recepción automáticamente solicita la retransmisión de todo el mensaje. La retransmisión frecuentemente se denomina ARQ, y es probablemente el método más confiable de corrección de errores, aunque no es el más eficiente, ya que su eficiencia depende mucho de la longitud de los mensajes enviados. Se puede establecer que para bloques de mensaje de entre 256 y 512 caracteres la corrección de errores de este tipo es óptima.

1.12.3. Seguimiento de corrección de errores

El seguimiento de corrección de errores (FEC; Forward Error Correction), es el único esquema de corrección de error que detecta y corrige los errores de transmisión en el lado receptor, sin solicitar la retransmisión. En este tipo de corrección de errores, se agrega a la señal de información como una serie de bits que corresponden a un código, así un FEC $\frac{3}{4}$ nos define que por cada 4 bits enviados 3 son de información y uno es de detección de errores.

1.12.4. Tasa de bits erróneos

La tasa de bits erróneos (BER; Bit Error Rate) se define como la relación entre la cantidad de bits que se reciben incorrectamente contra el total de bits que se transmiten.

1.13. CÓDIGOS

El proceso de codificación consiste en añadir bits de redundancia de una forma controlada a la información que requiere protección, esta información adicional suministrada para redundancia puede ser usada para detectar y/o corregir errores que ocurran durante la transmisión,

Los datos digitales se pueden transmitir mediante diferentes códigos de transmisión o de línea tales como:

1.13.1. Códigos de línea

Existen dos grandes clasificaciones de los códigos de línea:

- No Regresa a Cero (NRZ; Non Return to Zero)
- Regresa a Cero (RZ; Return to Zero)

Dichos códigos se clasifican en:

Códigos unipolares: En caso de lógica positiva existen dos niveles de representación +V para un uno lógico y 0 volts para un cero lógico.

Códigos polares: Se utilizan dos niveles para representar la información: +V para un uno lógico y -V para un cero lógico.

Códigos bipolares: Aquí se utilizan tres niveles para representar la información: +V/-V para un uno lógico y 0 volts para un cero lógico.

Existen otros códigos que se derivan del primero, como es el caso de:

No Regresa al Nivel Cero (NRZL; Non Return to Zero-Level) es el código más simple de realizar. La señal en banda base tiene un nivel constante en el intervalo de un bit, los niveles son dos, correspondientes cada uno a un estado lógico del dato. Así al bit 1 le corresponde +V y al bit 0 el valor de 0V (o -V, en el caso de código polar). En la figura 1.18a se muestra un ejemplo de este código en su forma unipolar, polar y bipolar. Estos códigos tienen la ventaja de una realización práctica, sencilla tanto en la fase transmisión como en la fase de recepción.

Se cuenta también con el código **NO** regresa a Marca Cero (NRZ-M; no return to zero mark) el cual se genera de la siguiente forma: Siempre comienza con un nivel cero, en un 1 lógico el cual ocasiona un cambio de nivel en la señal, en un 0 lógico no ocasiona cambio de nivel en la señal que genera. En la figura 1.18b. se muestra un ejemplo de este código.

Otro código, el **No Regresa a Espacio Cero (NRZ-S; no return to zero space)**, el cual se genera de la siguiente forma: comienza con nivel cero, un 1 no ocasiona cambio de nivel en la señal. En la figura 1.18b se muestra un ejemplo de dicho código

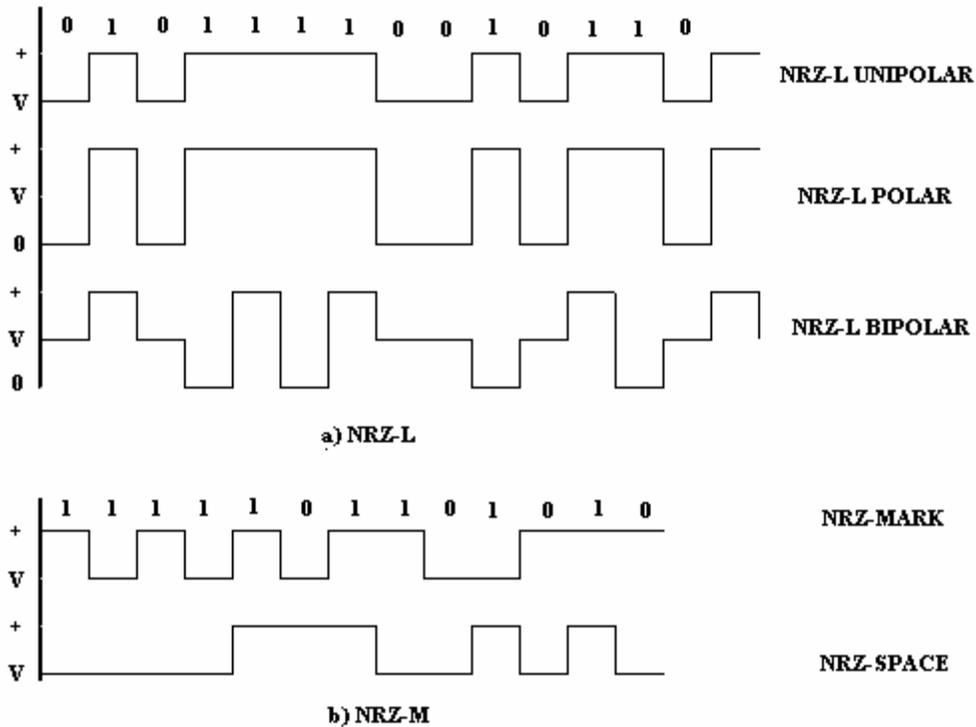


Figura 1.18. Códigos

Otros códigos empleados son:

1.13.2. Código Morse

Primer código ampliamente utilizado en comunicaciones eléctricas, este código originalmente fue diseñado para comunicarse sobre líneas de telégrafo, después fue desarrollado para comunicaciones por radio, por lo que este código no es para comunicaciones de datos. En la siguiente tabla se muestran algunos de estos caracteres de este código.

A	. _ _ _	0	_ _ _ _ _ _
B	_ _ . . .	1	. _ _ _ _ _
C	_ _ . _ _ .	2	. . _ _ _ _
D	_ _ . .	3	. . . _ _ _
E	. _ _ _	4 _ _
F	. . _ _ .	5
G	_ _ _ .	6	_ _

Tabla 1.5. Caracteres del código Morse

1.13.3. Código de Huffman

Los códigos de Huffman producen información compacta que se puede construir al ordenar las señales de entrada de acuerdo con sus amplitudes. Dado un alfabeto, ASCII por ejemplo, se asigna a cada símbolo de este alfabeto un conjunto de 0's y 1's que serán su palabra código.

1.13.4. Código Baudot

Este código fue diseñado para ser enviado y recibido por maquinas, su nombre oficial es código numero 2 CCITT y en Inglaterra se considera como el código Murria, debido a que el diseño la presente versión.

Como se puede observar en la tabla 1.6 los caracteres se representan con 5 bits, por lo que existen hasta 32 combinaciones por bit.

Ejemplo:

Código Baudot	Hexadecimal	Letra
00011	\$03	A
11001	\$19	B
01110	\$0E	C

Tabla 1.6. Código de Baudot

1.13.5. Código ARQ (Automatic Repit Request)

Fue desarrollado para su uso en medios de transmisión ruidoso, tiene el mismo sistema de letras y figuras que el Baudot, usa 7 bits para representar un carácter, el código para cada carácter usa 3 unos lógicos y 4 ceros lógicos, como se muestra en la tabla 1.7.

ARQ	HEX	LETRA
0011010	\$1A	A
0011001	\$19	B
0001001	\$0E	C

Tabla 1.7. Código ARQ

1.13.6. Código ASCII

Es un código de 7 bits, puede tener hasta 128 caracteres, un octavo bit llamado de *paridad* se agrega para chequeo de error, es muy utilizada en transmisión de datos, contiene letras mayúsculas y minúsculas, la versión internacional del código es llamado código numero 5.

La paridad es una forma de recuperar la información en el receptor cuando ésta ya fue dañada por el ruido, es una forma simple de detectar errores. Existen dos tipos:

Paridad par. Toma en cuenta que el número de 1's dentro de la palabra de 7 bits sea un número par.

Paridad impar. Toma en cuenta que el número de 1's dentro de la palabra sea un número impar.

Este método agrega bits de redundancia, su implementación física es muy sencilla por lo que es la más utilizada.

1.13.7. Código EBDCCDIC

Es desarrollado por IBM para su uso en equipos Main Frame, utiliza 8 bits por carácter. Los bits son numerados al contrario de la forma normal, respuesta hasta 256 caracteres, tiene un gran número de caracteres de control cuyo uso es similar al ASCII.

Código de protección de errores

La función principal de las técnicas de control de errores es introducir redundancia controlada permitiendo que los mensajes transmitidos que hayan sido corrompidos sean corregidos antes de ser procesados.

1.14. TRANSMISIÓN DE DATOS

Para transmitir datos a través de un sistema de comunicaciones es necesario utilizar señales que los representen y se propaguen por medio del canal de comunicación.

Estas señales pueden ser clasificadas en:

- Señales analógicas
- Señales digitales

1.14.1. Señales analógicas

Las señales analógicas varían continuamente en el tiempo y pueden tomar un número infinito de valores dentro de un cierto intervalo. Ejemplo de estas señales son las señales eléctricas o electromagnéticas para transmitir datos.

1.14.2. Señales digitales

Estas señales, en teoría solamente pueden tomar un número finito de valores diferentes y, por lo general, solo pueden cambiar de valor en periodos predeterminados. Las señales digitales pueden ser señales eléctricas, rayos infrarrojos o rayos láser principalmente.

1.14.3. Transmisión analógica

Las señales analógicas sufren una menor atenuación y distorsión que las señales digitales, aunque también se distorsionan. Estas señales son más complicadas de generar que las señales digitales,

pero pueden viajar a mayores distancias antes de que la atenuación y la distorsión provoquen que la señal no se pueda recuperar.

De manera similar con lo que ocurre con las señales digitales, las señales analógicas sufren mayor atenuación y distorsión tanto al viajar a mayores distancias como al variar más rápidamente su valor.

En las transmisiones analógicas se utilizan amplificadores para restituir en la señal la potencia perdida debido a la atenuación. Estos amplificadores también pueden tener ecualizadores para compensar parcialmente el efecto de la distorsión.

Los amplificadores restituyen potencia a las señales analógicas, pero amplifican el ruido, lo cual no ocurre con los repetidores regenerativos utilizados en las transmisiones digitales.

1.14.4. Transmisión digital

Las señales digitales son más fáciles de generar, sin embargo, cuando se transmite una señal digital por un conductor eléctrico, esta sufre una mayor atenuación y distorsión que una señal analógica.

La atenuación y la distorsión dependen de las características del medio (conductor eléctrico) y de la velocidad de transmisión, siendo más grandes a mayores velocidades y distancias.

Para contrarrestar estos problemas se utilizan repetidores cada cierta distancia. La función de un repetidor es reconocer o decodificar la señal digital que le está llegando y generar una señal restablecida idéntica nueva. Por esta razón también se le conoce como repetidor degenerativo.

En una transmisión digital no se utilizan amplificadores, sino repetidores.

1.14.5. Transmisión y sincronización

La comunicación de datos puede hacerse en forma serial o en forma paralela. En comunicación serial se transmite un solo bit a la vez y en comunicación en paralelo se transmiten varios bits, cada uno en un canal de comunicación diferente, por lo general se transmite un carácter o byte a la vez.

La comunicación en paralelo se utiliza principalmente en impresoras y en multiprocesadores de alta velocidad.

En redes de computadoras se usa primordialmente la comunicación serial. A continuación se describirán las diferentes formas de comunicación serial utilizadas en la comunicación de datos.

Si se toma en cuenta la forma en que se sincronizan el receptor del transmisor, la comunicación puede ser asíncrona o síncrona.

1.14.6. Transmisión asíncrona

El primer tipo de comunicación que se utilizó fue la comunicación asíncrona. En este tipo de comunicación la sincronización se realiza a nivel carácter o byte como se describe a continuación: Cuando la línea de transmisión está ociosa, se encuentra en el estado uno. Al transmitir un carácter se envía la siguiente información:

- Un bit de inicio (start) que pasa la línea al estado cero durante el tiempo que dura en transmisión un bit.
- Un bit de paridad para corrección de errores (sí él numero de unos es par, se añade un cero y sí él numero de unos es impar, se añade un uno)
- Los siete bits y el bit de paridad del carácter, manteniendo la línea en el estado cero o uno durante el tiempo de transmisión de un bit, dependiendo del bit a transmitir,
- Uno o dos bits de paro (stop), los cuales se envían manteniendo la línea en el estado uno.

En la figura 1.19. se muestra como se vería la variación del voltaje en una línea de comunicación al transmitir el carácter 10110010, utilizando dos bits de paro.

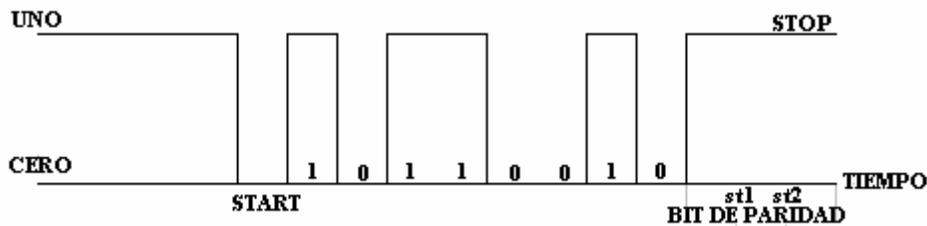


Figura 1.19 Variación del voltaje en una línea de comunicación

La comunicación asíncrona no es muy eficiente debido a los bits de inicio y de paro. Una forma más eficiente es utilizar una comunicación síncrona.

1.14.7. Transmisión síncrona

En la comunicación sincronía se transmite un bloque de caracteres o bits. En el primer caso la sincronización esta orientada a caracteres y el segundo a bits.

En este tipo de comunicación los relojes del transmisor y receptor deben estar sincronizados. Una posibilidad es tener un canal exclusivo para enviar la señal de sincronización y otra es incluir la información de sincronización entre los mismos datos.

En la transmisión sincronía orientada a caracteres se transmiten bloques de caracteres, generalmente de 8 bits con un formato similar al de la tabla 1.8.

SINCR	SINCR	CONTROL	DATOS	DATOS	CONTROL
-------	-------	---------	-------	-------	---------

Tabla 1.8 Bloque de caracteres de 8 bits.

Generalmente el bloque de información contiene dos o más caracteres de sincronización al inicio, los cuales sirven para que el receptor reconozca el inicio del bloque y sincronice su reloj.

Los caracteres de sincronización son un patrón fijo preestablecido que no debe ocurrir en ninguna otra parte del bloque de información.

La información de control al inicio, entre otras cosas, contiene la longitud del bloque de datos para que el receptor sepa hasta donde debe continuar recibiendo caracteres de ese bloque.

Después siguen todos los caracteres de datos y finalmente otros caracteres de control, generalmente un Verificador Redundante Cíclico (CRC; Cyclical Redundancy Check), que se utiliza para verificar que el bloque de información haya sido recibido sin errores.

En la comunicación síncrona orientada a bits también se transmiten bloques de información, pero ahora cada bit será tratado en forma independiente para efectos de transmisión.

El bloque de información en este caso consta de una señal que lo precede, que es una secuencia predeterminada de bits, además de un conjunto de bits de control, un conjunto de bits de datos, otro de bits de control y finalmente una señal que lo sucede, que por lo general tiene la misma secuencia que la señal precursora.

La secuencia de bits de inicio que constituye la señal precursora no debe existir en ninguna otra parte del bloque de información, excepto en la señal sucesora.

De acuerdo con las señales que se utilizan para transmitir la información, la comunicación puede estar formada por señales analógicas o digitales, como se ha mencionado con anterioridad.

1.15. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

1.15.1. Principios de la transmisión digital

La transmisión de señales digitales, se refiere a la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos, a través de un sistema de comunicación. La información de la fuente original, puede estar en un formato digital o ya sea en señales analógicas que deben ser convertidas a pulsos digitales antes de su transmisión, y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado receptor. En los sistemas de transmisión digital, se requiere de una interfase física como un par de cables, un cable coaxial o fibra óptica, etc. Para interconectar a los dos puntos en el sistema y para que los pulsos puedan propagarse dentro de dicha interfase con facilidad.

Dentro de las ventajas que se pueden mencionar al utilizar la transmisión digital son:

- Su inmunidad al ruido, ya que los pulsos recibidos se evalúan durante un intervalo de muestreo y se hace una sola determinación de sí el pulso se encuentra arriba o debajo de un umbral específico.
- Se prefieren los pulsos digitales por su mejor procesamiento y multicanalización que las señales digitales. Los pulsos digitales pueden guardarse fácilmente, mientras que las señales analógicas no pueden.
- Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación de señales, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.
- Los sistemas digitales están mejor equipados para corregir errores en la transmisión, que los sistemas analógicos

Sin embargo, los sistemas digitales presentan algunos inconvenientes y algunas condicionales que deben cumplir como son:

- La transmisión de las señales analógicas convertidas en señales digitales, requieren un ancho de banda mayor al utilizado para transmitirse en el formato analógico.
- Las señales analógicas deben de convertirse en códigos digitales antes de su transmisión, y convertirse nuevamente en analógicas en el receptor.
- La transmisión digital requiere de una sincronización precisa de tiempo, entre los relojes de transmisión y recepción.

1.15.2. Muestreo de señales

Sé a mencionado en el subtema 1.11.3, que para transmitir señales analógicas en un formato digital, es necesario convertir la estructura de esta, pero preservando la información de la señal. La manera de realizarlo es en base a la modulación por pulsos la cual se inicia con el teorema de muestreo de Nyquist.

Este teorema indica que sin un valor de amplitud de la señal de entrada es correctamente transmitido en intervalos de tiempo constantes, las señales de entrada pueden ser reproducidas exactamente en el lado superior; sin embargo, existe una condición que se debe cumplir, y es que el muestreo de una señal (f_s) se debe generar a una velocidad a menos dos veces superior a la máxima frecuencia presente en el cual (f_0), para que las muestras contengan información suficiente que le permita la reconstrucción de la señal. Si la frecuencia de muestreo es menor al doble de la componente de frecuencia mas alta de la señal, resultara en una distorsión o "aliasing".

Matemáticamente, la mínima razón de muestreo de Nyquist es:

$$f_s \geq 2f_0 \quad (1.35)$$

en donde:

f_s = mínima razón del muestreo de Nyquist en Hz

f_0 = frecuencia mas alta a muestrear en Hz

La velocidad de muestreo mas aceptada en la industria es de 8000 muestras por segundo, la cual permite reproducir con exactitud las señales de un canal de 4 KHz. Los intervalos entre los puntos de muestreo deben estar a $\frac{1}{2} f_0$ y el muestreo no puede llevarse a cabo a intervalos mayores a este. 8000 muestras son suficientes para expresar las señales de una línea telefónica de 3 KHz Una vez muestreada la señal, las muestras se recogen y almacenan a una determinada velocidad, y se convierten en datos binarios (codificación) para su posterior modulación.

En la figura 1.20. se muestra cual es el proceso que sufre una señal analógica.

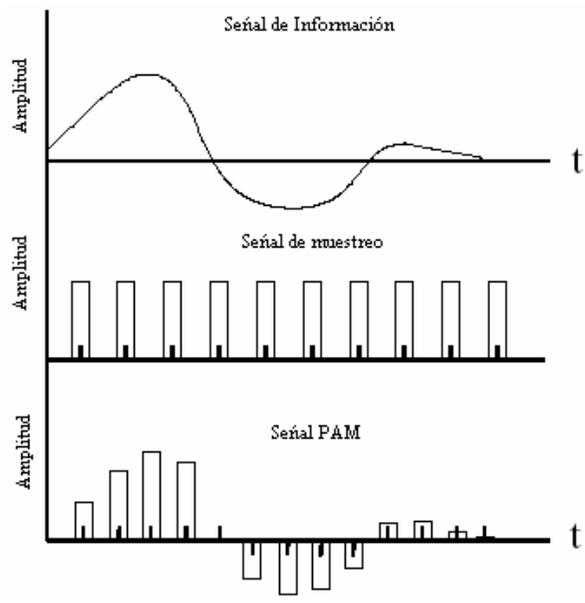


Figura 1.20 proceso de la señal analógica

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE

Las ondas de radio se propagan en una forma rectilínea, y debido a la curvatura de la tierra no pueden recibirse en lugares muy alejados del sitio emisor. Las ondas larga y corta permitían transmisiones transcontinentales, al ser reflejadas en la capa ionosférica, pero no servían para las comunicaciones de alta calidad. En este capítulo se habla de las comunicaciones vía satélite geostacionarias, comenzando con una descripción general de segmento espacial y segmento terrestre, procederé a enunciar los subsistemas más importantes que componen a un satélite así como los diferentes tipos de acceso de una estación terrena y un satélite, por ultimo los protocolos que más se utilizan para la transmisión de información por satélite.

Se menciona también los tipos de satélites que hay, sus características principales, como están constituidos, el tipo de aplicación que se les puede dar en este caso será enfocado a la señal de TV satelital.

En cuanto se refiera a las comunicaciones por satélites, se mencionan topologías de red como son la topología malla, estrella y mixta. Para establecer la comunicación entre la estación terrena y el satélite se mencionan las llamadas técnicas de acceso las cuales son FDMA, TDMA, CDMA, DAMA.

Un sistema de comunicaciones vía satélite esta compuesto por dos elementos fundamentales que son las estaciones terrenas llamadas *segmento terrestre* y los satélites que se les mencionan comúnmente *segmento espacial*. El mayor equipo necesario para este tipo de comunicación se encuentra en las estaciones terrenas. En la figura 2.1 se muestra un diagrama básico de comunicaciones vía satélite.

En este diagrama se puede observar que se necesita mínimo de dos estaciones terrenas, tanto una transmisora como una receptora, o de igual modo ambos operando como transmisoras y receptoras al mismo tiempo.



Figura 2.1 Esquema básico de un sistemas de comunicaciones por satélite

2.1. SEGMENTO ESPACIAL

El segmento espacial de un sistema de comunicaciones vía satélite consiste en los satélites y en las facilidades en tierra que efectúan las funciones de telemetría, comando y seguimiento, así como el apoyo logístico para los satélites.

Cabe mencionar algunos conceptos en este capítulo para comprender lo que es el segmento espacial y los elementos que lo constituyen.

2.1.1. El satélite

Podemos definir a un satélite como un repetidor fijo situado en el espacio, y como tal puede utilizarse ventajosamente para asegurar las comunicaciones entre diferentes países o dentro de un mismo país. Este elemento es el núcleo de la red y realiza la función de un emisor eléctrico situado en el espacio. Comprende un conjunto de diversos subsistemas de telecomunicación y antenas que le permiten desempeñar sus diversas funciones.

Actualmente la mayor parte de los satélites comerciales han sido colocados en una órbita circular a una altitud de 35800 Km.

2.1.2. Lanzamiento y colocación en órbita

La tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 hrs. Al colocar a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por un circuito ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 hrs. Entonces, para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

Esta fue la idea de Arthur C. Clarke en 1945; la idea es muy buena y debían cumplirse los siguientes requisitos:

Primero el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra. Además para que no pierda altura poco a poco y pueda completar una vuelta cada 24 hrs debía estar aproximadamente a 36000 Km de altura sobre el nivel del mar, para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3057 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra como se observa en la figura 2.2.

A esta se le llamo órbita geoestacionaria pero muchos autores se refieren a ella como un cinturón de Clarke en reconocimiento a su autor. En la actualidad es la órbita más congestionada alrededor de la Tierra por su sencillez y su bajo costo.

En teoría él numero de tipos de órbitas en los que un satélite se puede colocar alrededor de la Tierra es infinito, pero la mas codiciada y utilizada es la geoestacionaria. Para llevar un satélite a esta órbita, existen tres procedimientos, los cuales son:

- *Inyección directa en órbita geoestacionaria*

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke sin que se necesiten esfuerzos propios. La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y solo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino aumenta.

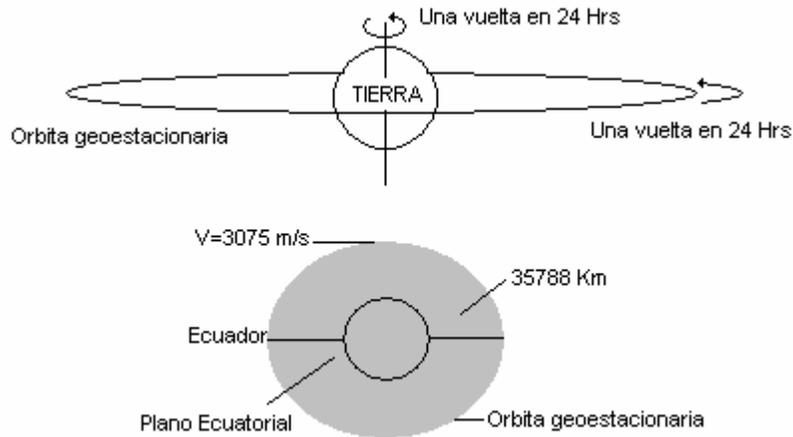


Figura 2.2. Cinturón de Clarke

- ***Inyección inicial en órbita elíptica***

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir muy alargada, en la que el centro de la Tierra es uno de los dos focos. Una vez ahí el satélite se separa del cohete y da una o varias vueltas en esa órbita, llamada transferencia geosíncrona, hasta que lleve a cabo la siguiente etapa de proceso, ya con esfuerzo propio del mismo.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura de 300 Km. sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35788 Km. que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar.

El paso siguiente es la circulación de la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado; este motor se enciende a control remoto, y cuando esto sucede el satélite recibe un incremento de velocidad y su órbita cambia de la elíptica a la geoestacionaria, ver figura 2.3.

- ***Inyección inicial en órbita baja***

Consiste en tres pasos, los dos primeros son idénticos al caso anterior, y el tercer paso es el siguiente:

El orbitador despegando llevando al satélite en su compartimiento de carga, y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular a una altura de aproximadamente 300 Km. sobre el nivel del mar, esto se muestra en la figura 2.4.

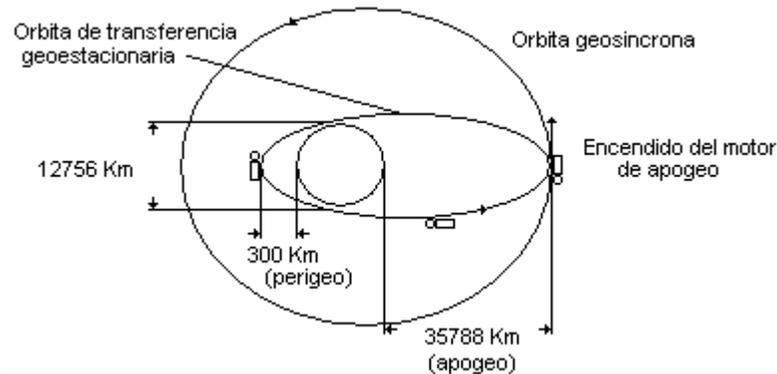


Figura 2.3. Inyección en órbita elíptica

En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado del compartimiento de la carga. La separación se realiza cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, combinándola de circular a baja o estacionamiento a una elíptica similar a la anterior.

Una vez que ha cumplido su función el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que más adelante, y en el mismo momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final.

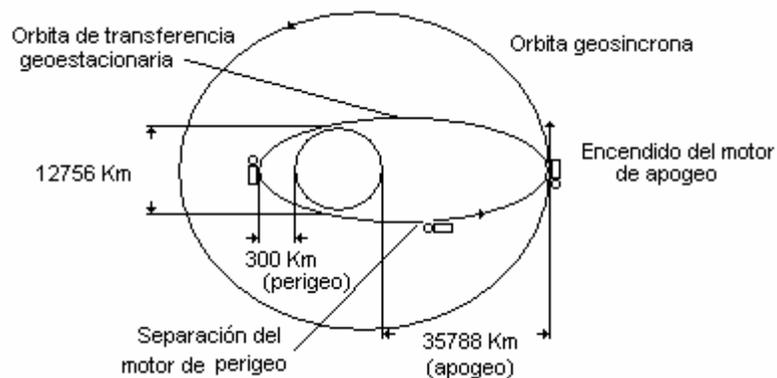


Figura 2.4. Inyección inicial en circular baja

2.1.3. El satélite y el medio ambiente en el espacio

Mientras el satélite se mueve dentro de una caja imaginaria de 70 Km. y no se salga de esta, en la figura 2.5. se ilustra lo anterior.

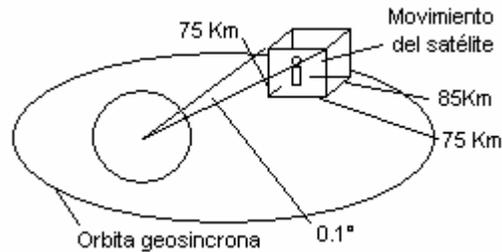


Figura 2.5. Cubo imaginario de 70 Km. por lado aproximadamente

2.2. SEGMENTO TERRESTRE

El segmento terrestre es el término con que se denomina la parte de un sistema de telecomunicaciones por satélite que está constituida por las estaciones terrenas, que transmiten a los satélites y reciben de estos diferentes señales de comunicación, y que constituyen la interfaz con las redes terrestres.

Tomando como referencia la figura 2.1 a continuación se dividirá el flujo en dos secciones a bloques, una de las cuales será la etapa de transmisión y la otra será la etapa de recepción, en las cuales se explica cada una de las componentes que la integran.

2.2.1. Trayectoria de transmisión ascendente

En la figura 2.6. se muestra el diagrama a bloques correspondiente a la sección de transmisión, la cual consta de:

- Interfaz de usuario. Su función es la de interconectar la información del usuario al sistema satelital
- Modulador. Combina la forma de señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencia y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a frecuencia intermedia (generalmente en 70 ó 140 MHz) es el primero en su ascenso de conversión a microondas.
- Convertidor de frecuencia de subida (Up Converter). Transfiere la señal de frecuencia intermedia a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas cuando salieron del modulado (aproximadamente en 6 ó 14 GHz para banda C ó Ku respectivamente)
- Amplificador de potencia (HPA High Power Amplifier). Es utilizado como la etapa final de amplificación en la trayectoria de transmisión y su función es asegurar un nivel de portadora adecuado, para la comunicación vía satélite.
- Antena. Este subsistema es común tanto en transmisión como en recepción y su función es la de concentrar energía en una dirección al satélite, asegurando la adaptación entre los equipos radioeléctricos y el medio de propagación

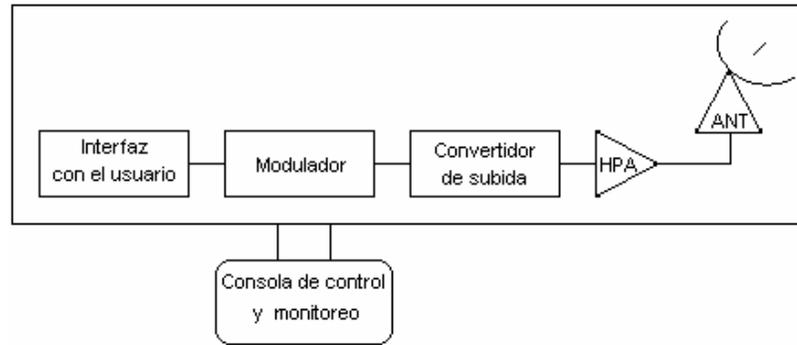


Figura 2.6. Diagrama a bloques de la trayectoria de transmisión

2.2.2. Trayectoria de recepción o descendente

En la Figura 2.7. se muestra el diagrama correspondiente a la sección de recepción o descendente, detallándose a continuación

- Interfaz de usuario. Es lo mismo que para la trayectoria de transmisión ascendente vista anteriormente
- Amplificador de bajo ruido (LNA Low Noise Amplifier). Tiene como función amplificar la señal recibida del satélite a través de la antena con una contribución mínima de ruido.
- Convertidor de bajada (Down Converter). Se refiere al equipo en donde una señal de radiofrecuencia, que es recibida del satélite es convertida a una señal de frecuencia intermedia. Normalmente el intervalo de frecuencias que se trabaja para la recepción a la banda Ku es de 11.7 a 12.2 GHz
- Demodulador. Es el que efectúa el proceso inverso del subsistema modulador.
- Consola de control y monitoreo. Su función es la de asegurar las interconexiones entre los diferentes subsistemas por medio de líneas de radiofrecuencia, del combinador, del divisor y del conmutador; además realiza las ordenes de mando en particular para asegurar la redundancia deseada.

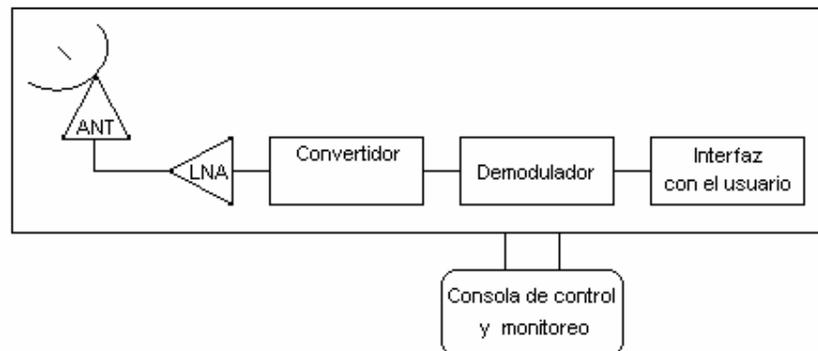


Figura 2.7. Diagrama a bloques de la trayectoria de recepción

2.3. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN SATÉLITE

2.3.1. Subsistema de un satélite

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto.

El satélite necesita también de la energía eléctrica que toma de las celdas solares, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medioambiente en el que vive y desde luego poder comunicarse con la Tierra a través de antenas.

En la figura 2.8. se muestran las partes de un satélite.

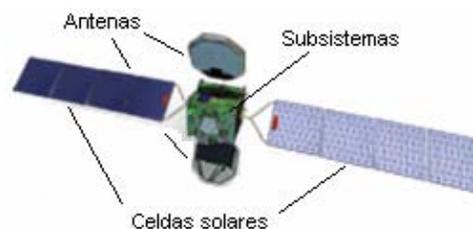


Figura 2.8. Estructura y subsistemas de un satélite

Los subsistemas más importantes son:

- Telemetría, comando y rango
- Potencia
- Orientación
- Propulsión
- Término
- Comunicaciones

2.3.2. Subsistema telemetría, comando y rango

Este subsistema recibe instrucciones para modificar o informar el estado de los diferentes subsistemas que componen al satélite, envían señales de telemetría para diferentes subsistemas, así como también hace un rastreo automático para detectar el nivel de señal que genera una estación terrena para controlarlo y dirigirlo.

Un flujo de telemetría es destinado para conducir la señal de rango con la cual permite realizar la medición de distancia entre la estación terrena y el satélite.

Para seleccionar un Receptor de comandos y seguimientos (CTR; Command Track Receiver) existe lo que se domina grupos de tonos (que consta de tres frecuencias que se utilizan para indicar los 1's

y 0's lógicos y para indicar la ejecución de un comando cargado en el satélite) los cuales se determinan en la tierra.

El CTR tiene la posibilidad de acceder a cualquiera de los decodificadores o registro donde será almacenado el comando o instrucciones generadas sobre la tierra.

Las antenas de los satélites han evolucionado hasta llegar a ser un factor importante en el diseño y peso de cada sistema. Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia procedentes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite las transmite de regreso a la Tierra concentradas en un haz de potencia.

Las antenas son al mismo tiempo, el puerto de salida y entrada al interior del satélite; son la etapa de transformación entre las señales que circulan dentro de varios subsistemas.

Las hay de distintos tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que tengan que trabajar y la cobertura que deban tener en ciertas zonas geográficas de la Tierra.

Las señales son enrutadas por medio de la guía de onda hacia el modulador de ferrita, el cual produce una modulación en amplitud proporcional al error de apuntamiento de la antena de reflector con respecto a una referencia que es fijada desde la Tierra.

2.3.3. Subsistema de Potencia

Para funcionar adecuadamente, todos los satélites necesitan un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia depende de las características de operación y normalmente varía entre los 500 y los 200 Watts, dependiendo de la capacidad del canal, además la potencia debe ser interrumpida por mas de 14 años.

El subsistema de potencia consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; esta último esta integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

En la figura 2.9. se representa la configuración básica del subsistema de potencia del satélite basado en el uso de paneles solares.

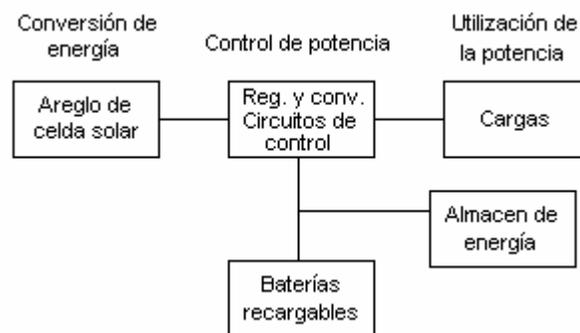


Figura 2.9. Configuración básica del subsistema de potencia de un satélite

Conversión de energía

La celda solar trabaja bajo el principio de efecto voltaico y convierte la radiación incidente solar en energía eléctrica. Las celdas solares se han hecho utilizando las de Silicio, debido a que ningún otro material ofrece tantas ventajas de duración y eficiencia como este. La celda consiste de una película delgada de cristal de Silicio (tipo-p) en la cual la unión (superficie) es formada por fósforo (tipo-n). La eficiencia de una celda solar decrece en función del tiempo en el espacio.

En la sección de celdas solares se deberán considerar:

- a) Capacidad y aceptación de potencia para rangos altos
- b) Gran número de ciclos de carga y descarga
- c) Alta eficiencia en la carga
- d) Buen hermetismo para prevenir la fuga o degradación del electrolito en las baterías, así como la corrosión, además de soportar presiones y temperaturas altas
- e) Posibilidad de operación a cualquier posición

En los satélites que usan la radiación solar, se utilizan baterías recargables como fuente continua de poder, por ejemplo, para poder alimentar al satélite en temporadas de eclipse o bien cuando no hay luz solar, que es cuando demanda la potencia almacenada en ella.

2.4. TIPOS DE SATÉLITES

2.4.1. Satélites orbitales

También llamados satélites no sincronos. Estos giran alrededor de la Tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Si el satélite esta girando en la misma dirección que la rotación de la Tierra y a una velocidad angular superior que la de la Tierra, la orbita se llama *orbita progrado*. Si el satélite está girando en la dirección opuesta a la rotación de la tierra, la órbita se llama *orbita retrograda*. Consecuentemente, los satélites no sincronos están alejándose continuamente o cayendo a la Tierra y no permanecen estacionarios con relación a ningún punto en particular de la Tierra. Por lo tanto los satélites no sincronos se tienen que usar cuando estén disponibles, lo cual puede ser un corto periodo de tiempo, como 15 minutos por orbita. Otra desventaja de estos es la necesidad de equipo complicado y costoso para rastreo en las estaciones terrestres. Cada estación terrestre debe localizar el satélite conforme esta disponible en cada orbita y después de unir su antena al satélite y localizar cuando pasa por arriba. Una gran ventaja de estos satélites es que los motores de propulsión no se requieren a bordo de los satélites para mantenerlos en sus orbitas respectivas.

2.4.2. Satélites geoestacionarios

Los satélites geoestacionarios son aquellos que se mueven en su orbita geoestacionaria circular, la cual se encuentra a una distancia de 36000 Km de la superficie terrestre en el plano ecuatorial. En este caso, como el satélite se mueve en la dirección y a la misma velocidad que la Tierra, parecerá que se encuentra fijo en su posición arriba del ecuador. Esta es la razón principal para el uso de este tipo de satélites, ya que se podrá establecer comunicación permanente con el satélite a través de una estación terrena.

Dependiendo del tipo de estabilización de los satélites, estos se dividen en dos tipos: satélite estabilizado por giro y satélites de estabilización triaxial.

Satélite estabilizado por giro

Este es un sistema utilizado para mantener la altitud del satélite con respecto a la Tierra, debido a las perturbaciones que sufre por la interacción de las fuerzas gravitacionales de la Tierra y la presión de la radiación solar. Para suprimir el efecto de estas fuerzas, el satélite utiliza el torque generado por el giro constante de su cuerpo alrededor de su propio eje. La forma del satélite debe ser cilíndrica para cumplir con este principio.

Satélites estabilizados triaxialmente

Este es un sistema de estabilización que controla la dirección de los tres ejes de referencia del satélite para que siempre permanezcan en una dirección.

Los tres ejes de referencia cuando el satélite se encuentra en órbita son: uno que se encuentra perpendicular al plano de órbita (pitch axis) un eje a lo largo de la dirección de movimiento del satélite (roll axis) y el último que apunta hacia el centro de la tierra (yaw axis).

2.5. TRANSPONDER

Es la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena hasta la entrada de la antena transmisora. Por lo que un subsistema de comunicaciones consta de muchos transponders y su número depende del diseño del satélite, en la figura 2.10 se muestra el subsistema de comunicaciones.

La señal proviene de la Tierra que entra por la antena receptora, puede tener muchos canales de televisión o miles de canales telefónicos, etc. Todos ellos enviados en frecuencias diferentes. Cuando mayor sea el ancho de banda de un equipo, este será más capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias.

Las antenas receptoras y transmisoras tienen un ancho de banda muy grande suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona en las bandas de frecuencia C y Ku. En cada una de las bandas el ancho de banda de operación es de 500 MHz para transmisión y 500 MHz para recepción.

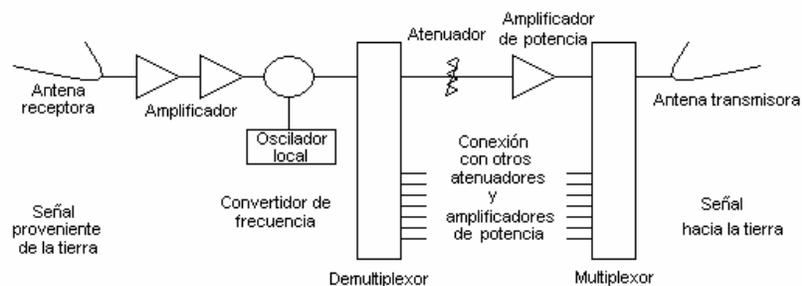


Figura 2.10. Subsistema de comunicaciones

Por conveniencia el ancho de banda de 500 MHz se divide en espacios o ranuras, el número depende de la aplicación del satélite por lo general se divide en doce ranuras o espacios iguales de 36 MHz de ancho de banda cada uno, como lo muestra la figura 2.11.. Entre cada ranura se deja un espacio adyacente para disminuir la posibilidad de interferencia entre señales que cada uno contiene. Esta división del ancho de banda del satélite es por la difícil amplificación de los señales al mismo tiempo, por lo que son aisladas, para procesarlas y amplificarlas por separado.

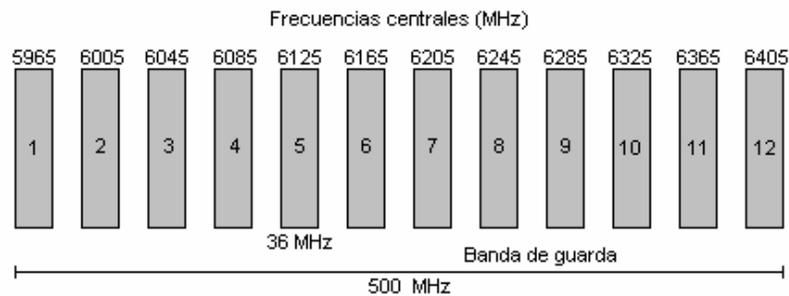


Figura 2.11. divisiones de un transponder

2.6. CONFIGURACIÓN Y TOPOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE

2.6.1. Configuraciones

Los sistemas de comunicación vía satélite pueden catalogarse generalmente como:

- Punto a punto: que significa que la comunicación solo se establece solamente entre un origen y un destino
- Multipunto: Se refiere que la comunicación se establece entre varios puntos como su nombre lo dice, puede ser de un origen a varios destinos, o que en toda una red exista la comunicación

2.6.2. Topología de la red

La topología de la red de comunicaciones identifica como varias ubicaciones dentro de la red se encuentran interconectadas. Las topologías más comúnmente usadas son las de estrella, malla y mixta; las cuales se mencionan a continuación

Estrella

Sólo existe comunicación entre la estación maestra con las estaciones remotas, pero no se permite la comunicación entre estaciones remotas, como lo indica la figura 2.12

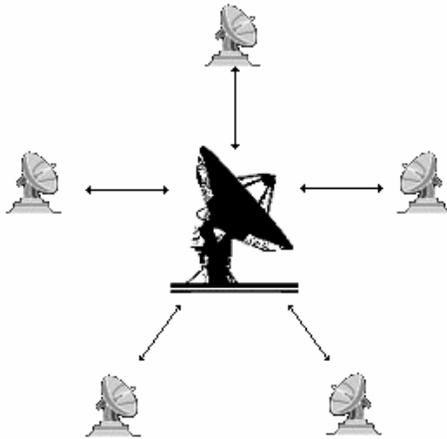


Figura 2.12 Configuración estrella

Malla.

La topología de red tipo malla a multipunto, se refiere a que cada estación terrena (nodo) podría comunicarse con cualquiera de las estaciones restantes sin acceder nuevamente al satélite. Obteniendo así una total flexibilidad de operación. Permitiendo el mantenimiento local o remoto y la combinación de ambos, como lo muestra la figura 2.13

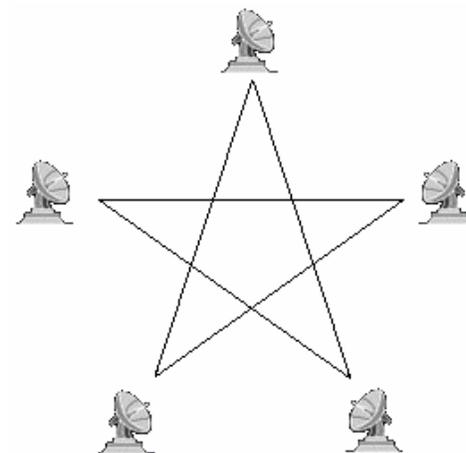


Figura 2.13 Malla

Mixta

Es una combinación de las dos anteriores, dependiendo de las necesidades del usuario, en la figura 2.14 se muestra la topología red mixta en las comunicaciones vía satélite.

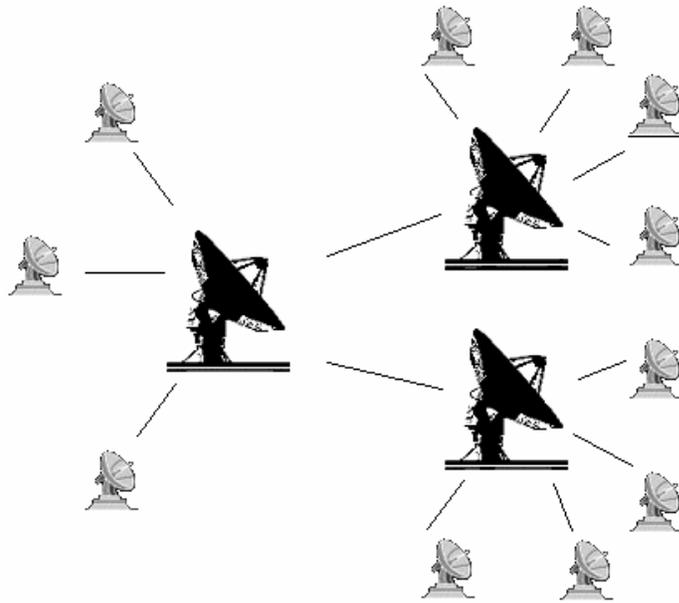


Figura 2.14 Mixta

2.7. TÉCNICAS DE ACCESO

Los satélites de comunicaciones permiten el diseño de las redes conmutadas sin necesidad de los conmutadores físicos. En la Tierra, si se quiere establecer centros de conmutación hay que alquilar líneas y unirlos mediante componentes físicos. Por lo contrario, cuando dos estaciones se comunican a través del transpondedor de un satélite, y puesto que ambas transmiten y reciben por los mismos canales, cada estación sólo necesita escuchar la frecuencia del canal de bajada para saber si una estación solo necesita escuchar la frecuencia del canal de bajada para saber si una transmisión va dirigida a ella. Si no es así, simplemente ignorara la señal, mientras que si es ella la destinataria copiara la señal y la entregara al usuario final. El problema en el satélite es como hacer para localizar los canales a usar cuando los usuarios estén muy separados en la superficie terrestre y cuando lo demanda de canales de comunicación varía constantemente. La solución consiste en emplear técnicas de acceso múltiple al satélite, es decir, varias estaciones remotas puedan servirse del satélite para manejar su tráfico de comunicaciones regular, a lugares muy distantes.

Para llevar a cabo el acceso múltiple es necesario que todas las estaciones terrenas interesadas en enlazarse proyecten el haz de su señal hacia el satélite. Así este puede concentrar todas las estaciones y seleccionar un camino mediante su equipo para establecer el enlace. Las técnicas de acceso al satélite son las siguientes:

- Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA; Frequency Division Multiple Access)
- Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA; Time Division Multiple Access)
- Acceso múltiple por división de código (CDMA; Code Division Multiple Access)
- Acceso múltiple por demanda asignada (DAMA; Demand Assigned Multiple Access)
- Acceso múltiple en forma asignada

Acceso múltiple por división de frecuencia

Las comunicaciones y compartición de información entre satélites y las estaciones terrenas pueden controlarse por FDMA que es un caso particular de la técnica de Multiplexión por división de frecuencia (FDM). En donde el ancho de banda total del canal del transpondedor se divide en porciones de banda que asignan a las distintas estaciones, permitiendo transmitir un número diverso de portadoras a diferentes frecuencias con anchos de banda no traslapados, dentro de los cuales pueden enviar todo el tráfico que desee, como lo muestra la figura 2.15. *Este método presenta dos inconvenientes, por un lado es necesario utilizar gran parte del ancho de banda del transpondedor como banda de resguardo para evitar que los canales adyacentes se interfieran; por el otro, si existen estaciones que no transmiten constantemente, se desperdicia gran parte, ya que muchos subcanales permanecen vacíos.*

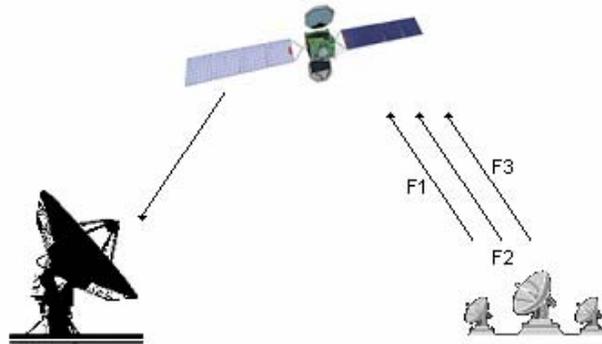


Figura 2.15. Sistemas FDMA

Acceso múltiple por división de tiempo

Inicialmente fue el TDM una técnica muy parecida a TDMA. Consiste en enviar la información dividida en tramas; a cada una de las estaciones terrenas se le permite transmitir una trama a alta velocidad por un breve periodo de tiempo o el que necesite, dependiendo de las necesidades de cada estación, encontrándose estas perfectamente sincronizadas, procediendo a su separación del lado receptor, como se aprecia en la figura 2.16. *Esta técnica presenta una limitación, dado que la capacidad del canal se asigna previamente a cada usuario potencial, el canal se desaprovecha si hay estaciones que no transmiten con regularidad.*

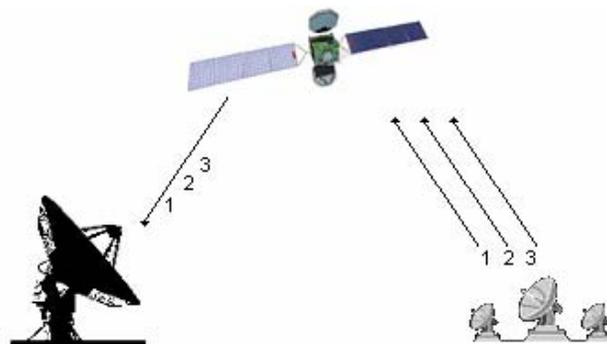


Figura 2.16. Configuración TDMA típica

Para contrarrestar la limitante anterior se desarrollo una nueva técnica de acceso múltiple por división de tiempo que integra un sistema principal/secundario sin sondeo. Esta técnica asigna tramas o ranuras según va haciendo falta a cada estación que lo solicite. Para esto una estación principal llamada referencia (REF). La estación de referencia acepta solicitudes de otras estaciones y según la naturaleza de tráfico y la capacidad disponible en el cual asigna tramas concretas a las estaciones solicitantes, para que estas transmitan de forma inmediata. En cada instante el canal amplifica una portadora única la cual ocupa todo el ancho del canal. Cada determinado numero de tramas, la estación de referencia envía las estaciones secundarias las asignaciones existentes.

Acceso múltiple por división de código

Esta técnica opera con el principio de extensión del espectro de transmisión, donde se combina el multiplexaje por tiempo y frecuencia, generando un plano codificado que puede asignarse a una estación.

En el acceso múltiple por división de código cada una de las estaciones terrenas transmiten continuamente y simultáneamente sobre la misma banda de frecuencia del canal, sin interferir con las demás estaciones que forman la red satelital.

El problema de interferencia entre las distintas estaciones que transmiten es resuelto por el receptor, el cual identifica la "firma" de cada estación; la firma es presentada en forma de una secuencia binaria, denominada código, la cual es combinada con la información útil de cada estación. Los códigos usados tienen las siguientes propiedades: cada código debe ser fácilmente distinguible de una replica o de otro código usado en la red.

Acceso múltiple por demanda asignada

En estaciones que operan con la técnica DAMA, los circuitos se asignan a un par de estaciones terrenas, cuando estas lo requieran de un grupo de circuitos disponibles.

Mediante esta técnica los recursos ofrecidos por el canal pueden ser asignados en forma variable, según la demanda, por lo tanto existe la posibilidad de capacidad de transferencia desde estaciones con capacidad de exceso a estaciones con demanda de exceso.

Acceso múltiple en forma asignada

En este medio se asigna una frecuencia fija a los circuitos requeridos por las estaciones terrenas para su uso exclusivo.

Otro de los problemas que se solucionan con el empleo de esta técnica son:

- Retardos considerables durante la transmisión y recepción de información, dado la gran distancia deberá viajar la señal a través del espacio.
- Utilización del canal la mayor parte del tiempo.
- Utiliza al máximo el ancho de banda total disponible del transpondedor.

2.8. PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES

El protocolo es el conjunto de reglas que define como se ha de iniciar y finalizar una transmisión, y como tratar las posibles incidencias.

La tarea principal de un protocolo es la mayor eficacia en la realización de una determinada tarea, evitando la duplicidad de funciones, minimizar el tiempo empleado y asegurando la correcta realización de la misma.

Por lo tanto, las funciones básicas que ha de realizar cualquier protocolo son:

- Establecimiento de enlace entre el punto destino y origen
- Transmisión de la información
- Detección de fallos en la transmisión
- Corrección de errores

En la comunicación de datos una vez que la información se ha codificado, se procede a su envío, por lo que el transmisor y el receptor se pondrán de acuerdo en la forma que transmitirán y resolverán posibles errores.

En comunicación de voz también se manejan distintos protocolos de señalización entre las centrales, entre ellas y los usuarios.

2.8.1. Protocolo orientado a carácter

Estos fueron los primeros que se emplearon, y consiste en un conjunto de caracteres de control que se añade a la información para realizar tareas específicas formando tramas. Los caracteres que se añaden a la trama suelen ser de tres tipos, de inicio, de fin de bloque y de control de diálogo.

2.8.2. Protocolo orientado a bit

La diferencia con lo anterior radica en que es cada bit y no el carácter del que forma parte, él tiene un significado específico. Son posteriores y ampliamente utilizados para su rendimiento y las facilidades que representan.

HDLC (Level Data Link Control, Control de enlace de datos de alto nivel) de ISO, es un protocolo orientado a bit y tiene tres modalidades diferentes.

- HDLC-MNR. Modo normal de respuesta, en el que una estación primaria adquiere el control y el resto de secundarias responden a la petición de esta
- HDLC-MRA. Modo de respuesta asíncrono, similar al anterior, pero pudiendo solicitar las estaciones secundarias en una transmisión, sin permiso de la primaria
- HDLC-MRAE. Modo de respuesta asíncrono equilibrado, en el que todas las estaciones tienen la misma categoría, pudiendo iniciar la transmisión en cualquier momento, requiere de enlaces punto a punto y duplex.

2.8.3. Protocolo SNMP

Protocolo simple de administración de red (SNMP; Simple Network Management Protocol), en sus distintas versiones, es un conjunto de aplicaciones de administración de red que emplea los servicios ofrecidos por TCP/IP y que se ha convertido en un estándar.

Para SNMP, la red constituye un conjunto de elementos básicos administradores de Estaciones de Administración de Redes (NMS; Network Management Station) ubicados en el equipo o los equipos de administración de red y agentes (elementos pasivos ubicados en los nodos a ser administrados) siendo los segundos los que envían información a los primeros al ser interrogados.

A través de la Base de Administración de Información (MIB; Management Information Base) se tiene acceso a la información para la administración, contenida en la memoria interna del dispositivo en cuestión, MIB es una base de datos, con una estructura de árbol, adecuada para manejar diversos grupos de objetos los cuales contienen información sobre variables que se pueden adoptar.

2.8.4. Protocolo TCP/IP

El conjunto de protocolos; Protocolo de control de transmisión/ protocolo entre redes (TCP/IP; Transmission Control Protocol/ Internet Protocol), es un estándar internacional, para la comunicación e intercambio de información entre subredes de datos basadas en la conmutación de paquetes.

TCP/IP es una familia de protocolos que proporcionan una comunicación entre nodos extremo a extremo. TCP proporciona los servicios a nivel de transporte e IP a nivel de red. TCP utiliza IP para establecer comunicaciones fiables entre subredes de datos.

La tarea principal del protocolo de Internet son el direccionamiento de los datagramas de información y de la información en un encabezado compuesto de información relativa al datagrama. IP es responsable del enrutamiento de los datagramas, determinando a donde se enviarán, así como las rutas alternas en caso de problemas. IP tiene la capacidad de hacer una estimación del mejor enrutamiento para mover un datagrama al siguiente nodo a lo largo de una ruta. El protocolo Internet es sin conexión, lo que significa que no se ocupa de los nodos a través de los cuales pasa un datagrama a lo largo de la ruta, e incluso en que máquina se inicia y termina el datagrama.

El protocolo de control de transmisión proporciona un número considerable de servicios a la capa IP y a capas superiores. Aun de mayor importancia, proporciona a las capas superiores un protocolo orientado a conexión, que permite a una aplicación asegurarse de que un datagrama enviado sobre una red se recibió totalmente. TCP maneja el flujo de datagramas provenientes de las capas superiores, así como los datagramas de llegada provenientes de la capa IP. Tiene que asegurarse de que las prioridades y la seguridad son respetadas. TCP debe ser capaz de manejar la terminación de una aplicación en una capa superior, que estaba esperando la llegada de un datagrama, así como fallas en capas inferiores.

Debido a que TCP es un protocolo orientado a conexión, responsable de asegurar la transferencia de un datagrama desde la máquina fuente a una máquina destino, TCP debe recibir mensajes de comunicación de la máquina destino para asegurar el recibo de los datagramas.

Otros protocolos de la familia, que utilizan los servicios de TCP/IP son:

- TELNET para la conexión a una aplicación remota desde un proceso o terminal
- Protocolo para la transferencia de archivos (FTP; File Transfer Protocol)
- Protocolo para la aplicación de correo electrónico (SMTP; Simple mail Transfer Protocol)
- Procedimiento de llamada remota (RPC; Remote Procedure Call) permite la llamada a procedimientos situados remotamente, como si fueran locales
- Sistema de archivos en red (NFS; Network File System) para la utilización de los archivos distribuidos por los programas de aplicación
- X-WINDOWS, para el manejo de ventanas e interfaces de usuario en una estación de trabajo
- Para la administración de la red (SNMP; Simple Network Management Protocol)

Dado que el protocolo TCP/IP hace uso de referencia OSI (Open System Interconnection). OSI surge con la idea de Interconectar sistemas de procedencia diversa, es decir, de diferentes fabricantes, siendo que cada uno de los cuales empleaba sus propios protocolos para el intercambio de señales. El termino abierto se seleccionó con la idea de realzar la facilidad básica del modelo que dio origen al mismo, frente a otros modelos propietarios cerrados.

En el modelo OSI las tareas se dividen las siguientes siete partes, módulos, niveles o capas:

- Capa de aplicación.- Es la interfaz de sistema OSI con el usuario final, siendo su tarea desplegar la información recibida y enviar los nuevos datos de los usuarios en las capas inferiores.
- Capa de presentación.- Esta capa aísla a las capas inferiores del formato común conocido como representación canónica; es un formato independiente del formato de la maquina útil para las capas inferiores. En el receptor los datos son convertidos del formato común a los formatos específicos de la aplicación para los cuales la maquina tiene instrucciones
- Capa Sesión.- Su tarea es organizar y sincronizar el intercambio de datos entre los procesos de aplicación. Trabaja con la capa de aplicación para proporcionar los conjuntos sencillos de datos conocidos como puntos de sincronización, los cuales indican a la aplicación el progreso de la transmisión y la recepción de datos, es en esta etapa donde se forman los datagramas. En las redes de conmutación de paquetes un datagrama es una forma de encaminamiento, en la cual un paquete se dirige hacia su destino final, independiente del resto, por los tramos de menor carga y retardo, sin que previamente se haya establecido un circuito real.
- Capa de transporte.- Esta capa realiza una transferencia transparente de datos de un sistema abierto a otro. Establece, mantiene y termina las comunicaciones entre dos maquinas comprueba que los datos enviados sean igual a los recibidos y si no existe solicita un reenvío, así como también administra el envío de datos, determina su orden y prioridad.
- Capa de red.- Su tarea es el enrutamiento físico de los datos, determina la ruta entre las maquinas, examina la topología de la red y determina cual es el mejor camino y los sistemas de relevo

- Capa física.- Se ocupa de las características mecánicas, eléctricas y funcionales de los medios a través de los cuales se transporta la señal. Se refiere al cableado u otra forma de transmisión

Las capas de aplicación, presentación y sesión están orientados a la aplicación, en la que son responsables de la presentación de la interfaz de usuario. Las tres son independientes de las capas inferiores y son totalmente ajenas a los medios por los cuales los datos llegan a la aplicación.

Las cuatro capas inferiores tienen que ver con la transmisión de datos, y se ocupan del empaque, enrutamiento, verificación y transmisión de cada grupo de datos. Las capas inferiores no se preocupan del tipo de datos que reciben o envían a la aplicación, sino simplemente se ocupan de la tarea de enviarlos.

2.8.5. Protocolo X.25

Este protocolo permite interfuncionamiento de redes públicas de conmutación de paquetes, siendo su entorno de funcionamiento entre terminales de datos y subred. Las redes de paquetes están basadas en la tecnología de conmutación de paquetes de datos, donde la capacidad de transmisión se puede compartir entre varios usuarios.

Los datos que son enviados a través de una red de este tipo son divididos en paquetes o bloques, cada paquete contiene una dirección o una indicación del destino requerido. Los conmutadores de paquetes de datos de la red enrutan los paquetes a sus destinos al examinar la dirección incluida de los mismos.

En X.25 se definen los procedimientos que realizan el intercambio de datos entre los dispositivos de usuario y nodo de acceso de una red. Encargado de manejar los paquetes por lo que X.25 es un conjunto de protocolos de acceso:

- Protocolo de enlace de acceso balanceado (LAPB; Link Access Procedure Balanced) es el protocolo de enlace de datos que administra la comunicación entre el equipo de usuario y el nodo de acceso a la red. LAPB asegura que la transmisión sea libre de error y en secuencia.
- Protocolo de intercambio de paquetes; (X.25 PLP; Packet Layer Protocol) es el protocolo de capa de red (de acuerdo al OSI) de X.25 PLP está relacionado con el establecimiento/desestablecimiento de conexiones y transferencia de datos, principalmente.

En este capítulo, menciono los módulos de enlace satelital, tanto de subida como de bajada, así como las etapas que conlleva cada una de ellas. Estas etapas conocidas también como estaciones terrenas, dentro de estas, un dispositivo esencial, es la antena, por lo que en este capítulo se enunciarán los tipos de antenas y sus características principales, así como los diagramas básicos para una estación terrena transmisora y una receptora.

En lo que respecta al enlace satelital, es fundamental el apuntamiento de las antenas parabólicas, en el presente capítulo se mencionan las técnicas, el análisis, los factores que intervienen, los instrumentos de medición necesarios para el apuntamiento de una antena y poder alcanzar una mayor ganancia.

Ya que se comprenden los conceptos básicos para el enlace, se procede a enunciar los parámetros de enlace satelital los cuales nos ayudan para el cálculo de un enlace satelital.

En este capítulo se pretende tener los conocimientos básicos para comprender, el cómo es posible que una señal viaje a través del espacio, los dispositivos que son implementados para poder lograr una comunicación entre una estación terrena transmisora, el satélite y una estación terrena receptora.

3.1. MÓDULOS DE ENLACE DE UN SISTEMA SATELITAL

Esencialmente un sistema satelital consiste de tres secciones básicas; una subida, un transponder satelital y una bajada

3.1.1. Módulo de subida

El principal componente dentro de la sección de subida, de un sistema satelital, es el transmisor de la estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de Frecuencia Intermedia a Radio Frecuencia (IF a RF), un amplificador de alta potencia (HPA; High Power Amplifier) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo un filtro pasa-bajas de salida) La figura 3.1 muestra el diagrama a bloques de un transmisor de estación terrena satelital. El modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasabandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite. Los HPA comúnmente usados son los klystrons y tubos de onda progresiva.

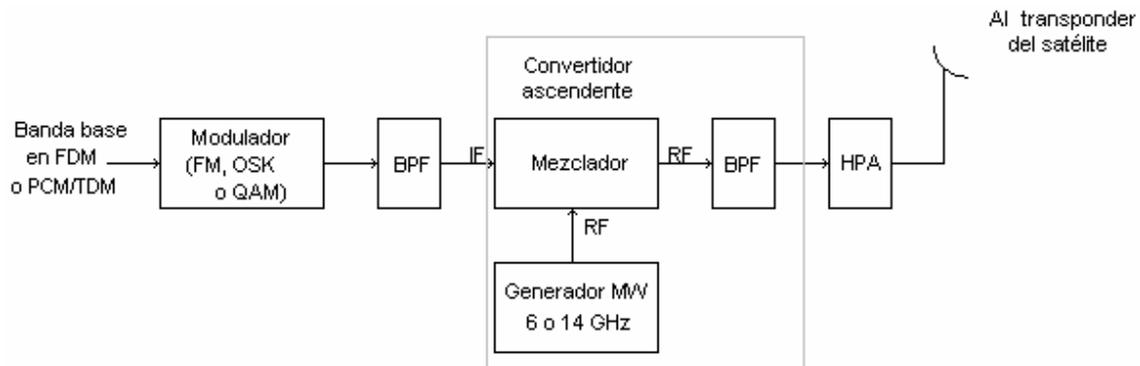


Figura 3.1 Módulo de subida al satélite

3.1.2. Transponder

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF Band Pass Filter), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA; Low Noise Amplifier), un traslator de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. Este transponder es un repetidor de RF a RF como lo muestra la figura 3.2. Otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas. La salida del LNA alimenta a un traslator de frecuencia (un oscilador de frecuencia y un BPF), que convierte la frecuencia de subida de banda alta a una frecuencia de bajada de banda baja. El amplificador de potencia de bajo nivel, que es comúnmente un tubo de ondas progresivas, amplifica la señal de RF para su transmisión por medio de la bajada a los receptores de la estación terrena. Cada canal de RF del satélite requiere de un transponder separado.

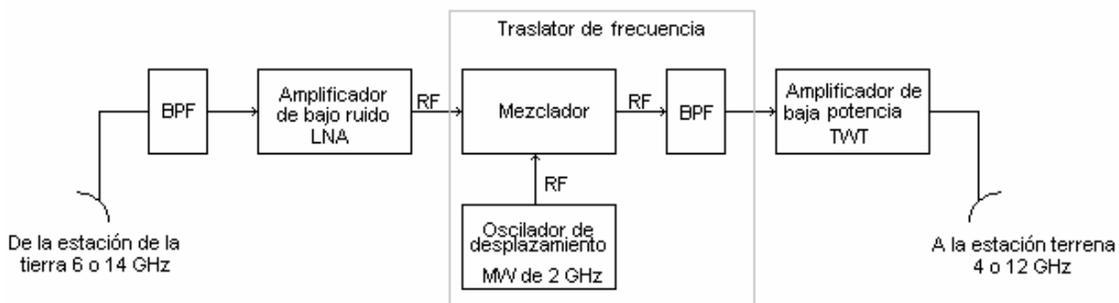


Figura 3.2. Transponder del satélite

3.1.3. Módulo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. La figura 3.3. muestra un diagrama a bloques de un receptor de estación terrena típico. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido, tal como un amplificador de diodo de túnel o un amplificador paramétrico. El convertidor

de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF.

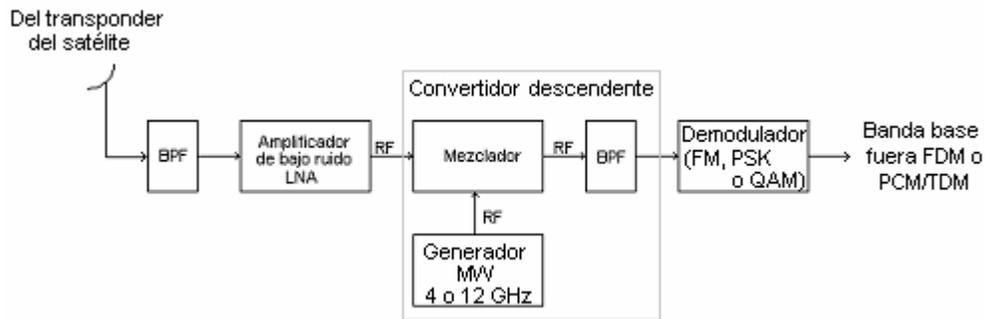


Figura 3.3 modelo de bajada

3.2. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

Cuando se transmite una señal de información, ya sea analógica o digital vía satélite, típicamente se inicia con un proceso de modulación en los módems, posteriormente se incrementa la frecuencia de la señal modulada a través de los conversores de subida, consecuentemente se incrementa la potencia de la señal con los de alta potencia y finalmente la señal modulada e incrementada en frecuencia y potencia, es radiada en dirección al satélite por la antena transmisora. Los equipos utilizados para la transmisión de una señal vía satélite son:

- Módem
- Convertidor de subida
- Amplificador de alta potencia
- Antena parabólica

Módem.- Los módems generan la señal modulada a transmitirse, conjuntado las características deseadas de la señal moduladora y de la señal portadora, la primera es la señal de información en formato digital, proveniente de las fuentes de información y la segunda, la señal portadora, típicamente es una señal senoidal generada internamente del módem. La señal portadora es modulada digitalmente en fase (PSK) en la mayoría de los casos. Estos equipos proporcionan a su salida el rango conocido como frecuencia intermedia y admiten a su entrada el rango de banda base.

Las características técnicas relevantes del Módem son:

- Pasos de la sintonía.- Este parámetro se refiere a la frecuencia mínima que es capaz nuestro Módem de registrar o sintonizar, generalmente es en pasos de 125 Hz.
- La velocidad de información.- Es la cantidad de bits de información que se aceptan en el dispositivo que recibe la información entre el tiempo total que se requiere para la aceptación de los bits.
- Error por corrección directa (FEC; Forward Error Correction) Este tipo de corrección de errores, se agrega a la señal de información como una serie de bits que corresponden a un

código, así un FEC de $\frac{3}{4}$ nos define que por cada 4 bits enviados 3 son de información y uno es de detección de errores.

- Roolloff.- Es una característica de la cantidad de los filtros paso-bajas de los módems para seleccionar una adecuada frecuencia de corte
- La tasa de bits erróneos (BER; Bit Error Rate) se define como la relación entre la cantidad de bits que reciben incorrectamente contra el total de bits que transmiten

CONVERTIDOR DE SUBIDA (Up Converter).- Es el equipo que eleva la frecuencia de la señal modulada desde el rango de frecuencia intermedia hasta el de radiofrecuencia ya sea en banda C o Ku.

AMPLIFICADORES DE ALTA POTENCIA (HPA; High Power Amplifier).- El amplificador le proporciona a la señal modulada la potencia necesaria para llegar al satélite con el nivel adecuado para lograr el enlace. Los circuitos amplificadores de alta potencia son usados de acuerdo a la potencia de transmisión y al ancho de banda que manejan. Existen tres tipos principales de amplificadores de alta potencia, que son el Tubo de onda progresiva (TWT; Travel Wave Tube:), el amplificador de estado sólido (SSPA; Solid State Power Amplifier), y la válvula Klistrón (KLY). En la tabla 3.1 se muestra una comparación de las características de cada uno de ellos.

PARAMETRO	KLYSTRON'S	TWT'S	FET'S
Circuito de amplificación	Klystron	TWT	GaAs FET
Potencia de salida	Alta	Alta	Baja
Tamaño	Grande	Mediano	Pequeño
Peso	Grande	Mediano	Pequeño
Ancho de banda	Varias decenas de MHz	Varias cientos de MHz	Varios cientos de MHz
Enfriamiento	Enfriado con aire para sistemas de 1Kw Enfriado con agua para sistemas de 10 Kw	Enfriado con aire para sistemas de 1Kw enfriado con agua para sistemas de 10 Kw	Enfriamiento normal
Voltaje de la fuente de poder	Mediano	Alto	Bajo

Tabla 3.1. Características de los diferentes tipos de Amplificadores de Potencia

Gracias a que el TWT tiene un ancho de banda de amplificación grande, puede cubrir todas las bandas de frecuencia reservadas para transmisión, y además es útil para manejar mas de una portadora.

Por su parte, el klystron tiene un ancho de banda pequeño, pero su frecuencia es ajustable a cualquier frecuencia de las reservadas para transmisión.

El FET es usado en estaciones de baja capacidad cuando la potencia de salida es baja, generalmente varias unidades se conectan en paralelo para obtener una potencia de salida alta.

ANTENA TRANSMISORA PARABÓLICA.- Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas -como si fuera una lente- en un punto llamado foco; así mismo si las señales provienen del foco(modos de recepción), las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación (modo de transmisión). Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena y en él se coloca el alimentador que por lo general es una antena de corneta o bocina; el tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos.

Características de las de antenas

Las antenas deben cumplir ciertos requisitos para poder recibir las señales débiles que llegan procedentes del satélite, y deben de transmitir eficientemente la potencia de la señal hacia el mismo. Las características a las que nos referimos se mencionan a continuación:

- a. Alta ganancia y gran eficiencia. Aunque la ganancia de la antena se incrementa con su área, desde el punto de vista de costos y de la funcionalidad, es deseable que esta sea de gran eficiencia para obtener una ganancia alta con antenas pequeñas en tamaño.
- b. Alta Directividad. Las antenas requieren que tengan una alta directividad para que la ganancia en la dirección de interés sea máxima, y en otras direcciones sea mínima, de allí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo mas bajo posible, para que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas.
- c. Buena polarización. Se requiere que las antenas tengan buena polarización, para lograr el uso eficiente de frecuencias, el cual se busca multiplexando señales polarizadas horizontalmente y otras en forma vertical, y otras en polarización izquierda.
- d. Poca influencia de Ruido. Es necesario reducir el ruido, para cumplir con el nivel de la cifra o figura de mérito G/T requerido.

Alimentación de las antenas

Hay varios tipos de alimentación de una antena parabólica, pero los mas utilizados son los de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain.

- a. Antena de alimentación frontal. Esta antena tiene una estructura simple y de bajo costo. Es empleada principalmente en estaciones de sólo recepción y en estaciones pequeñas de baja capacidad. Sin embargo sus características de ganancia, eficiencia y directividad no son muy buenas.
- b. Antena Cassegrain. Esta antena es mucho más eficiente que la anterior ya que la ganancia es mayor, pero su precio es alto. Se utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, en estaciones terrenas de gran capacidad en el manejo de señales de telefonía y datos, y en estaciones para servicio domestico e internacional. Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamando subreflector, y el alimentador o corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la tierra sino principalmente por emisiones de la atmósfera.

- c. Antena Offset. Con este tipo de antenas, el bloqueo del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se pueden eliminar. En este caso, sólo se emplea una sección de plato parabólico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir los ejes de la corneta y del paraboloide no coinciden, de allí que se le llame antena offset. Con esto las características de directividad se incrementan grandemente, así como la eficiencia y la ganancia.

Debido a su característica de buena directividad y concentración de haz, estas suelen clasificarse de acuerdo al número de reflectores, tipo de alimentación y eficiencia, estas características están resumidas en la siguiente tabla 3.2. Para diferentes tipos de antenas

Tipo	Reflector	Alimentación	Subreflector	Eficiencia
Parabólico	Única	Frontal	No	Reducida
Cassegrain	Doble	Posterior	Cóncavo	Buena
Gregory	Doble	Posterior	Convexo	Buena
FOCET	Único	Frontal	No	Buena

Tabla 3.2. Características de las antenas utilizadas en las comunicaciones vía satélite

En la figura 3.4 tenemos los 4 tipos de antenas más comúnmente utilizados en las comunicaciones vía satélite descrito en la tabla 1. Su elección depende de las necesidades propias de cada usuario.

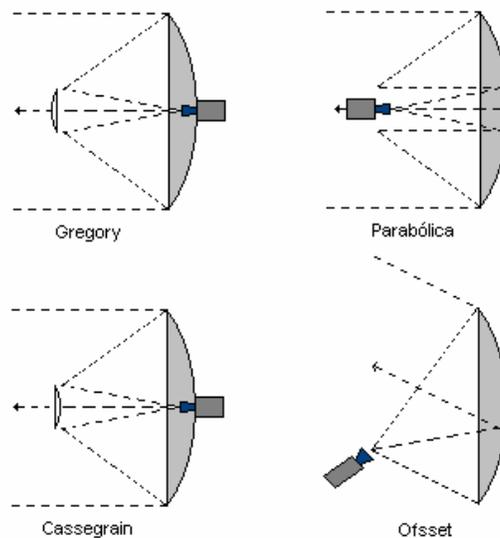


Figura 3.4 tipos de antenas

Las características más importantes de las antenas a la transmisión son:

- **Ganancia.** Es el parámetro más importante el cual determina no sólo el rendimiento de la antena, sino también el rendimiento y la escala de la estación terrena. La ganancia (G) en

términos de la apertura (A), la longitud de onda (λ) y la eficiencia (η) se expresa de la siguiente manera

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \eta \quad (3.1)$$

Haciendo algunas operaciones y sustituyendo valores se puede obtener

$$G = \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \eta \quad (3.2)$$

Siendo η la eficiencia de la antena, la cual oscila en el rango 0.5 a 0.7

- Patrón de radiación. Existen 2 tipos de patrones de radiación: Patrón de radiación de eje cercano, y patrón de radiación de ángulo amplio.

Patrón de radiación de eje cercano.- Indica las características de ganancia alrededor del eje principal. El grado de dispersión del haz principal es indicado por el ángulo formado entre dos puntos donde la ganancia decrece en 3 dB. Esto es llamado ancho de haz a media potencia

Para una antena parabólica ordinaria, el ancho de haz a media potencia ($\theta_{1/2}$) se expresa en términos de la frecuencia (GHz) y el diámetro D (m) como:

$$(\theta_{1/2}) = 21 / D f \quad (3.3)$$

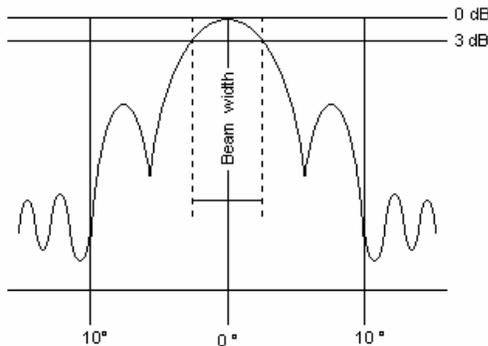


Figura 3.5 Ancho del haz

Patrón de radiación de ángulo amplio. Define las características de ganancia en un rango de 1 grado o más del eje principal; es también conocido como caracterización de lóbulos laterales. Es deseable suprimir los lóbulos laterales lo más posible, para evitar interferencias con otros sistemas. De acuerdo a las recomendaciones de la CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones), para antenas en las cuales $D/\lambda > 100$ la ganancia en los lóbulos laterales debe ser como se muestra en la figura 5.x

$$1^\circ < \theta < 48^\circ \quad G_s = 32 - 25 \log \theta \text{ (dB)} \quad (3.4)$$

$$\theta > 48^\circ \quad G_s = -10 \text{ (dB)} \quad (3.5)$$

Sin embargo en la actualidad se han definido valores de G_s para $1^\circ < \varphi < 25^\circ$ con el fin de hacer más eficiente el desempeño de la antena, lo cual se muestra en la tabla 3.3

$$D/\lambda > 100 \quad G_s = 29 - 25 \log \theta \text{ (dB)} \quad (3.6)$$

$$D/\lambda < 100 \quad G_s = 32 - 25 \log \theta \text{ (dB)} \quad (3.7)$$

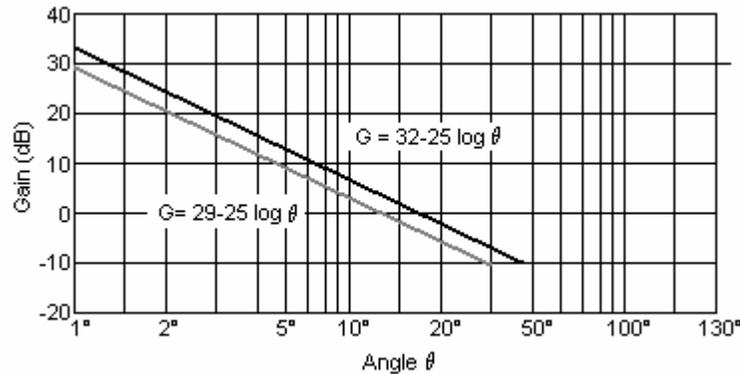


Tabla 3.3. Ángulos de operación

- PIRE (Potencia Isotrópica Radiada efectiva). El producto de la ganancia de transmisión enfrente de la antena multiplicada por la potencia de transmisión se le conoce como PIRE, y representa la capacidad de la estación transmisora.

$$\text{PIRE} = (\text{POT}_{\text{HPA}})(G_{\text{ANT}}) \text{ [Watts]} \quad (3.8)$$

3.3. SISTEMAS DE RECEPCIÓN

La estación terrena receptora capta a través de su antena la señal proveniente del espacio, la amplifica, le disminuye su frecuencia y demodula para las señales digitales.

El equipo necesario en una estación terrena receptora es:

Antena. La señal procedente del satélite en su trayectoria de regreso a la Tierra, sufre pérdidas y su nivel de potencia al llegar a las antenas de las estaciones es sumamente bajo. La antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite en la polarización y banda de frecuencias con las que ella funciona, sin embargo, lo común es que en cada estación en particular solamente sea de interés una pequeña porción de toda esa información, por lo que la estación después de capturar y amplificar dicha información, debe separar sólo aquella parte que le corresponda para procesarla.

Como se muestra en la figura 3.3. la antena recibe la señal del satélite y a través del cable la entrega a un amplificador de bajo ruido, con poca potencia de salida, este aparato genera internamente muy

poco ruido, que se suma a las señales originales que entran a el para amplificación. La primera etapa de amplificación es muy importante, porque cualquier señal recibida por la antena es muy débil y su nivel de potencia es muy bajo. Por esta razón es muy importante que el ruido generado por este dispositivo de amplificación sea lo más bajo posible, y de ninguna manera comparable en magnitud a ninguna de las débiles señales que están entrando en él.

La antena y el amplificador de bajo ruido o LNA, son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación.

Las características relevantes de la antena a la recepción son:

Figura de mérito.- Anteriormente se comentó que la antena tiene una ganancia que para fines de recepción es su parámetro más importante y se designa como G. Por su parte, el amplificador de bajo ruido tiene una temperatura de ruido como su principal parámetro indicativo, y mientras esta sea mas baja tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de recepción es mayor. Sin embargo, no solo se introduce ruido en la señal a través del LNA, sino también por la antena, y su magnitud se calcula en función de una temperatura de ruido de la antena; la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura total T de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores sean bajas.

El valor del cociente G/T se conoce como factor de calidad o cifra de mérito, y es una cantidad que se utiliza comúnmente para definir las cualidades de recepción de una estación terrena, la cual debe tener un valor mínimo para funcionar aceptablemente, y sus unidades son dB/°k.

La figura de mérito se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$G/T = G_{db} - 10 \log T_e \quad (3.9)$$

Donde:

G= Ganancia de la antena a la frecuencia de recepción

T_e= Temperatura efectiva de ruido en el sistema

Temperatura de ruido. Es la suma de todos los componentes de ruido en el sistema de recepción, estos componentes se pueden dividir en cuatro categorías:

Ruido de antena.- Este ruido incluye el de desbordamiento en la antena, el ruido cósmico y el ruido atmosférico. El desbordamiento de la antena se refiere a la energía que irradia la antena al suelo y la que dispersan los soportes de la antena.

Componentes pasivas de ruido. Es la sumatoria del ruido equivalente de las componentes pasivas antes de que la señal de entrada llegue a la primera componente activa.

Ruido de encadenamiento de los amplificadores de alta potencia.

Suma de las contribuciones de ruido excesivo de las diferentes etapas activas de amplificación del sistema de recepción.

Amplificador de bajo ruido (LNA). Es el dispositivo encargado de amplificar a la débil señal recibida por la antena de la estación terrena. La característica de éstos amplificadores es la de agregar un mínimo de ruido a la señal amplificada. Como característica importante de este amplificador es su temperatura de ruido, y en tanto esta temperatura sea mas baja, será mejor su comportamiento.

La mayor parte de los amplificadores de bajo ruido son "paramétricos" (su circuito de microondas usa un diodo varactor), pero en la actualidad han tenido una gran aceptación los amplificadores con transistores de efecto de campo (FET) y de arseniuro de galio (GaAs). Estos últimos son más estables y menos complicados para alimentarlos de energía, aunque su temperatura de ruido es ligeramente mayor que la de los amplificadores paramétricos.

La temperatura de ruido usual con la que operan los amplificadores actuales es del orden de unas cuantas decenas de grados kelvin, o cuando mucho unos 250 °K. La tecnología desarrollada hasta ahora en la banda C (3.7-4.2 GHz) ha permitido fabricar fácilmente amplificadores con temperaturas inferiores a los 100 °K, pero la banda Ku (11.7-12.25 GHz) es común encontrarlos con temperaturas entre 100 y 200 °K.

Actualmente, la elección normal para las estaciones grandes o de tamaño mediano es la de usar amplificadores paramétricos o incluso FET con refrigeración termoeléctrica, mientras que en el caso de las pequeñas estaciones es común el empleo de los Fet con refrigeración por compensación de temperatura.

Banda de frecuencia	Tipo	Forma de refrigeración	Temperatura de ruido
Banda C (3.7-4.2 GHz)	Paramétrico	Criogénica	15
	Paramétrico	Termoeléctrica	35-40
	Paramétrico	Compensación de Temperatura	50-60
	FET	Termoeléctrica	45-60
	FET	Compensación de Temperatura	75
Banda Ku (11.7-12.2 GHz)	Paramétrico	Criogénica	20
	Paramétrico	Termoeléctrica	80-100
	Paramétrico	Compensación de Temperatura	100-150
	FET	Termoeléctrica	90-140
	FET	Compensación de Temperatura	200-250

Tabla 3.4. Ondas de Frecuencia

Convertidor de bajada (Down Converter). Una vez que la señal es amplificada, pasa por varias etapas de conversión en frecuencia, en donde se le disminuye desde los niveles de radiofrecuencia intermedia (es decir, de 0 MHz ó 140 MHz), dependiendo del sistema.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso, bajando la frecuencia de RF hasta la frecuencia intermedia FI que se le debe entregar al demodulador o también se puede

hacer en dos pasos. En este caso, la señal se baja primero a una frecuencia intermedia que suele variar entre 800 MHz y 1.7 GHz, y después se vuelve a bajar hasta la segunda frecuencia intermedia que puede ser de 70 a 140 MHz

En algunos casos se utilizan circuitos que llevan integrado el amplificador de bajo ruido con el convertidor reductor de frecuencia en un solo bloque, y este producto se conoce como convertidor de bajo ruido LNC o como convertidor reductor de bloque de bajo ruido o LNB. Los LNC y LNB son utilizados principalmente para la recepción de televisión. De estos dos, el LNC tiene la desventaja de que solo puede alimentar a un receptor a la vez, mientras que el LNB puede alimentar simultáneamente a varios receptores con señales distintas.

Módem. Una vez que la señal está en el rango de la frecuencia intermedia, llega al Módem en su etapa demoduladora, que se encargará de proporcionar la información en la banda base. La señal se demodula y se verifica la información corrigiéndose en base al algoritmo del FEC.

Un parámetro significativo de la calidad de la señal recibida es la relación señal a ruido, y sé específica precisamente a la salida del demodulador. Dicha relación, es la medida de la calidad para enlaces analógicos (televisión o telefonía con modulación FM); en una transmisión digital (telefonía digitalizada o datos con modulación PSK) dicha relación no se utiliza, sino que se emplea la probabilidad de error. La señal digital esta compuesta por una secuencia de unos y ceros; el ruido al añadirse a ellos en diferentes etapas del enlace ocasiona que algunos unos y ceros se interpreten mal en el receptor. La proporción de bits que sean interpretados erróneamente por el demodulador digital, en relación con la secuencia correcta que tenía la señal original, es la medida de calidad del enlace y se conoce como probabilidad de error.

Por lo anterior, se ve que el demodulador es un bloque muy importante de toda la cadena de recepción, ya que determina la calidad final del enlace, entregando a su salida la señal original con cierta relación S/N (señal a ruido) o una probabilidad de error P_e , según el caso. Obviamente, para que el demodulador funcione bien necesita que la señal modulada que entre a el lo haga cuando menos con un nivel mínimo de potencia, en relación con el ruido que lleva consigo.

3.4. ESTACIONES TERRENAS

Básicamente una estación terrena puede describirse en dos secciones, la primera en la parte de transmisión y la segunda en la parte de recepción.

Estación terrena transmisora. Cuando se transmite una señal de información, ya sea en forma analógica o digital vía satélite, comúnmente se inicia con proceso de modulación en los módems, posteriormente se incrementa la frecuencia de la señal modulada a través de los conversores de subida, consecuentemente se incrementa la potencia de la señal modulada e incrementada en frecuencia y potencia y finalmente la señal modulada e incrementada en frecuencia y potencia, es radiada en dirección al satélite por la antena transmisora.

Los equipos utilizados para la transmisión de una señal vía satélite se muestran en la figura 3.6.

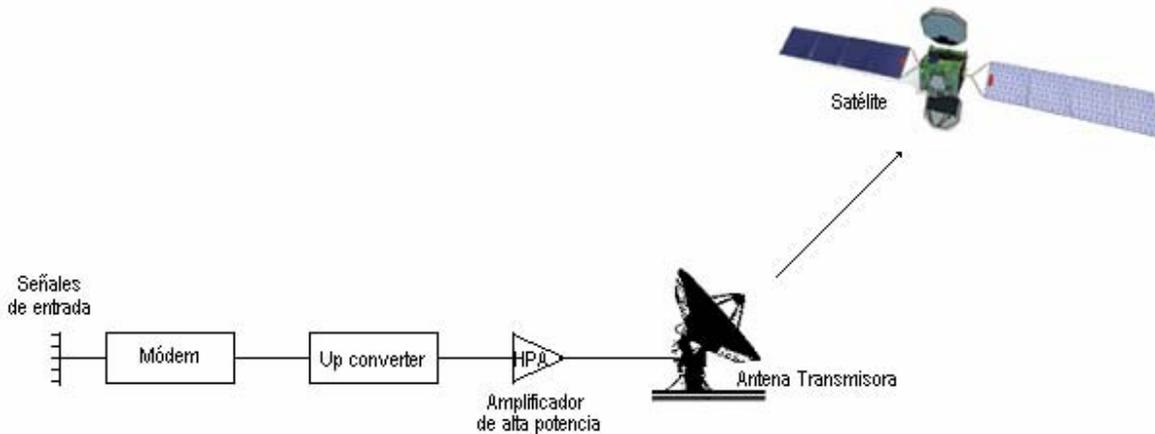


Figura 3.6. Configuración de una estación terrena transmisora.

Módems. Los módems generan la señal modulada a transmitirse, conjuntando las características deseadas de la señal moduladora y de la señal portadora, la primera es la señal de información en formato digital, proveniente de las fuentes de información y la segunda, la señal portadora, típicamente es una señal senoidal generada internamente en el módem. La señal portadora es modulada digitalmente en fase (PSK) en la mayoría de los casos. Estos equipos proporcionan a su salida el rango conocido como frecuencia intermedia y admiten a su entrada el rango de banda base.

Las características técnicas del módem son:

- *Pasos de sintonía.* Este parámetro se refiere a la frecuencia mínima que es capaz el módem de registrar o sintonizar, generalmente en pasos de 125 Hz.
- *Velocidad de información.* Es la cantidad de bits de información que se aceptan en el dispositivo que recibe la información entre el tiempo total que se requiere para la aceptación de los bits.
- *Corrección de errores adelantada (FEC; Forward Error Correction).* En este tipo de corrección de errores, se agrega a la señal de información como una serie de bits que corresponden a un código, así un FEC de $\frac{3}{4}$ nos define que por cada 4 bits enviados 3 son de información y uno es de detección de errores.
- *Roll off.* Es una característica de la cantidad de los filtros paso-bajas de los módems para seleccionar una adecuada frecuencia de corte, así como lo muestra la figura 3.7.

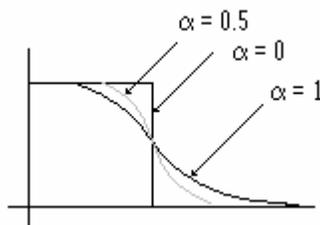


Fig. 3.7. Diferentes valores de Roll off para un filtro paso-bajas

- *Tasa de bits erróneos (BER; Bit Error Rate)*. Se definen como la relación entre la cantidad de bits que reciben incorrectamente contra el total de bits que son transmitidos.

Convertidor de subida. Es el equipo que eleva la frecuencia de la señal modulada desde el rango de frecuencia intermedia hasta el de radiofrecuencia ya sea en banda C o Ku.

Amplificadores de potencia. Proporciona a la señal modulada la potencia necesaria para llegar al satélite con el nivel necesario para lograr el enlace. Los tres principales tipos de amplificadores de alta potencia son: TWT (Travel Wave Tube, Tubo de ondas viajeras), el SSPA (Solid State Power Amplifier, Amplificadores de estado sólido), Y la válvula Klystron.

3.5. APUNTAMIENTO DE ANTENAS PARABÓLICAS

Un satélite en órbita geoestacionaria aparece fijo en el cielo con respecto a su punto en la tierra. Si una estación terrena está dentro del área de cobertura del satélite puede enlazarse con el simplemente apuntando la antena hacia este. Tal apuntamiento se lleva a cabo mediante dos movimientos: Ángulo de azimuth y elevación. Como se muestra en la figura 3.8.

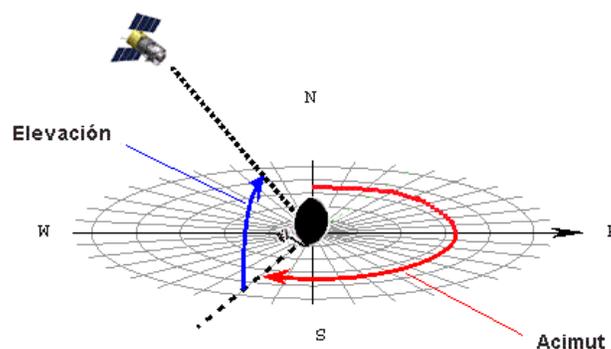


Figura 3.8 Ángulo de elevación y azimuth

3.5.1. Análisis Matemático

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geoestacionario se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimuth; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación –en latitud (θ_i) y longitud (θ_L) - y de la ubicación en longitud del satélite (θ_s). Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevaciones aquel formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite como se muestra en la figura 3.9.

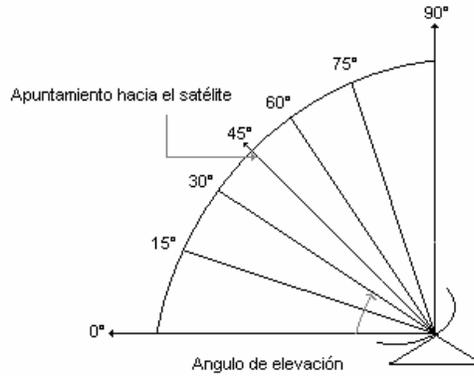


Figura 3.9. Definición del ángulo de elevación de la antena de una E/T

Por su parte, el ángulo de azimuth es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj –con relación al norte geográfico de la Tierra- para que ese mismo eje de simetría –prolongado imaginariamente- pase por la posición en longitud del satélite figura 3.10.

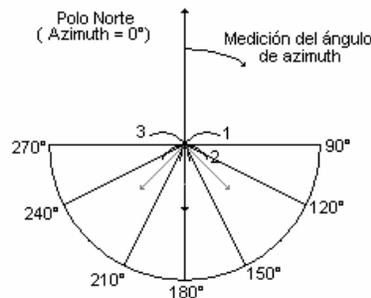


Figura 3.10. Definición del ángulo de azimuth de la antena de una E/T

Dependiendo de la localización de la estación terrena con respecto a la posición del satélite, el ángulo de azimuth esta dado por:

Caso 1 Estación en el hemisferio norte

$$Az = 180^\circ - A'$$

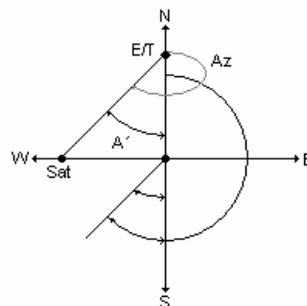


Figura 3.10a Satélite al oeste de la estación

$$Az = 180^\circ + A'$$

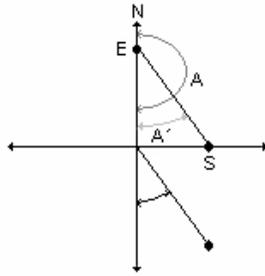


Figura 3.10b Satélite al Este de la estación

Caso 2: Estación en el hemisferio sur

$$Az = - A'$$

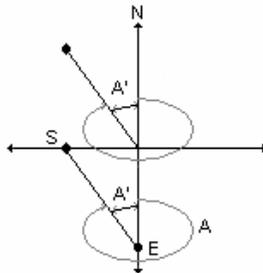


Figura 3.10c Satélite al oeste de la estación

$$Az = A'$$

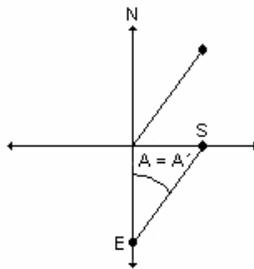


Figura 3.10d Satélite al este de la estación

Para calcular el ángulo de azimuth en base a lo mencionado anteriormente tenemos:

$$A' = \text{Tan}^{-1} \left\langle \frac{\text{Tan}(\text{LongSat} - \text{LongE} / T)}{\text{Sen}(\text{LatE} / T)} \right\rangle \quad (3.10)$$

El radio orbital geoestacionario $r = 42164.2$ Km (distancia del satélite al centro de la tierra; $R_e = 6378.185$ Km (radio ecuatorial de la tierra)

Para calcular la elevación, primero tenemos

$$E = \tan^{-1} \left[\frac{r - R_e \cos \theta_i \cos [\theta_s - \theta_L]}{R_e \sin [\cos^{-1} (\cos \theta_i \cos (\theta_s - \theta_L))]} \right] - \cos^{-1} (\cos \theta_i \cos (\theta_s - \theta_L)) \quad (3.11)$$

3.5.2. Análisis gráfico

En la tabla 3.5 muestra otro método general para calcular ambos ángulos, dichas gráficas contienen unas curvas que representan líneas de azimuth y elevación constantes. En el eje horizontal se encuentran las diferencias entre la longitud de la estación receptora y la del satélite, mientras que en el eje vertical se encuentra la latitud de la estación receptora. Para calcular los ángulos de azimuth y elevación, el procedimiento a seguir viene dado de los siguientes pasos.

Calcular la diferencia entre la longitud del satélite geoestacionario y la de la estación receptora, recordando que los ángulos hacia el Este tienen signo positivo y hacia el Oeste negativo.

$$A = \text{Long sat} - \text{Long E/T} \quad (3.12)$$

Tomar siempre el resultado con signo positivo, aunque en caso de ser negativo debe tomarse en cuenta, que ya que deberá cambiar el signo del azimuth resultante. Debe trazarse en las dos gráficas una línea paralela al eje vertical y que corte el eje horizontal en el punto de diferencia de las longitudes (A).

Trazar una línea paralela al eje horizontal que corte el vertical en el punto correspondiente a una latitud igual a la de la estación receptora. El punto de intersección de ambas líneas determinan los ángulos de elevación y azimuth.

3.5.3 Apuntamiento en forma práctica

Después de que ya se tiene los ángulos de azimuth y elevación obtenido por forma matemática o gráfica, se procede a realizar el apuntamiento en forma práctica.

Los métodos más empleados para orientar una antena parabólica en azimuth son el solar, el de la estrella polar, la brújula, siendo este último el más popular y el que se sugiere que se utilice, para esto es necesario que la antena este colocada en un lugar firme, así como que no exista algún obstáculo que impida la línea de vista como son: árboles, cerros, muros, etc.

Tras ser montada la antena, se puede apuntar con la ayuda de la brújula, hace que el punto calculado no sea más que una aproximación. Así mismo al hacer la medida del azimuth utilizando la brújula debe situarse lejos de cualquier otro objeto metálico para que no perturbe la indicación de la aguja.

Dada la mayor precisión del ángulo de elevación, lo más conveniente es ajustar primero éste ángulo. Con la ayuda de un receptor digital de televisión o de un analizador de espectros, encontramos el máximo nivel de señal para éste punto y posteriormente se gira la antena ligeramente hacia el este según el azimuth calculado, hasta observar que se recibe un máximo de señal.

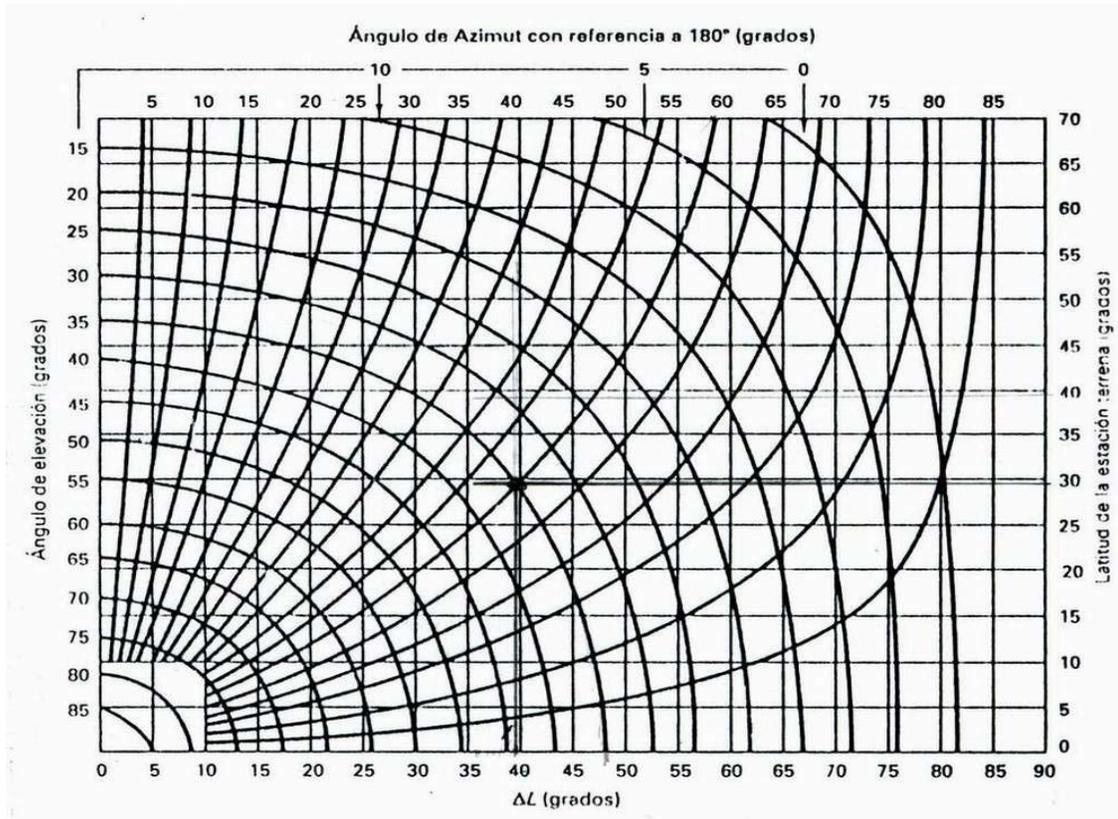


Tabla 3.5 Gráfica para encontrar ángulos de elevación y azimuth

Una vez localizado el máximo se fijará la parábola y se hará un nuevo ajuste del ángulo de elevación, hasta conseguir un nuevo máximo en el nivel de recepción. Finalmente, los procesos de ajuste de azimuth y elevación se pueden repetir a fin de optimizar el apuntamiento..

3.6 INSTRUMENTOS PARA LA ORIENTACIÓN DE LA ANTENA

3.6.1. La brújula

Para medir el ángulo de azimuth de una antena, el instrumento que debe utilizarse es la brújula la cual se puede observar en la figura 3.10. La brújula es un dispositivo magnético que siempre nos indica la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, o sea de Norte a Sur. Ahora, teniendo en cuenta, por una parte la ley de las atracciones y las repulsiones magnéticas y, por otro lado, que el polo norte de una brújula se dirige hacia el polo norte geográfico de la Tierra, se deduce que el polo magnético de la Tierra se encuentra en el Norte de la misma es el polo sur magnético, ya que atrae al polo norte la brújula. Recíprocamente, el polo magnético que se encuentra en el sur geográfico es polo norte magnético, ya que atrae el polo sur de la brújula.

Sin embargo las brújulas no apuntan directamente al Norte, sino que en realidad la dirección de la brújula forma un cierto ángulo con el meridiano terrestre. Al ángulo que forma la brújula con el

meridiano terrestre se le llama declinación magnética en el lugar considerado. Por lo que al hacer el apuntamiento de la antena es necesario considerársete valor.

Existen ciertos lugares donde la declinación magnética es igual a cero; por ejemplo, en algunas zonas del estado de Florida, del Caribe y de América del Sur. El Azimuth de una antena queda perfectamente definido por la orientación de la brújula, sin necesidad de efectuar ningún ajuste. Por otra parte, la declinación magnética puede toma valores de 100° o más, como ocurre en el Archipiélago de Parry, Canadá. En el continente Americano, entre las latitudes 60°S y 55°N, esta declinación varía entre 0° y 35° E u O, y en el caso particular de la República Mexicana, el intervalo de variación esta entre 5°E y 14°E

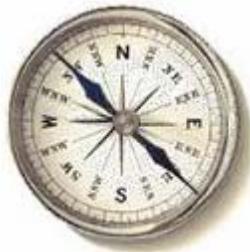


Figura 3.10 Brújula para orientación de antenas

Para orientar antena parabólica en azimuth es preciso restar o sumar la declinación magnética, valor leído en la brújula, dependiendo de si la inclinación es hacia el Oeste o el Este, para localizar el verdadero azimuth geográfico. Existen datos publicados de la declinación magnética por zonas geográficas en las llamadas "cartas de líneas isogónicas" y debido a que los polos magnéticos norte y sur varían ligeramente de posición con el tiempo, existen organismos nacionales e internacionales que realizan nuevas mediciones cada tres o cinco años, para actualizar dichas cartas.

En la tabla 3.6. se muestran los valores de declinaciones magnéticas de algunos lugares de la República Mexicana.

Ciudad de México	6.8
Guadalajara	8.1
Monterrey	7.7
Ciudad Juárez	10.9
Puebla	6.6
Tijuana	13.7
Tampico	6.8
Torreón	8.8
Mexicali	13.5
Chihuahua	10.1
Acapulco	6.6
San Luis Potosí	7.5
Veracruz	5.9
Hermosillo	11.6
Mérida	3.2

Tabla 3.6 Declinaciones magnéticas aproximadas de algunas Ciudades de la República Mexicana

3.6.2. El inclinómetro

Para el caso de encontrar el ángulo de elevación de una antena, el instrumento utilizado es un inclinómetro y una de las formas de realizar la medida consiste en colocar el listón sobre el plato y el inclinómetro encima. Dado que el ángulo medido y la elevación difieren en 90° , el ángulo medido deberá ser:

$$\text{Ángulo medido} = 90^\circ - \text{ángulo de elevación}$$

En la figura 3.11. se puede observar un inclinómetro. Ya que se ha orientado una antena, colocándola en los ángulos de azimuth y elevación con la ayuda de los instrumentos ya mencionados, como sabemos si ya podemos captar la señal, y además, y además saber si ésta es óptima, por lo que es necesario conectar un receptor a la salida de la antena, por lo que se puede ver que el receptor es igual de importante que el subsistema de antena, y por esto vamos a hacer una descripción mas detallada en la parte receptora.



Figura 3.11 Inclinómetro utilizado en la orientación de antenas

3.6.3. El receptor

La parte de recepción como se mencionó anteriormente, es la que nos va a indicar que tan bueno ha sido nuestro apuntamiento de antena con el satélite, por lo que este equipo toma una gran importancia en este proceso. Podemos hablar en el caso de que el lado receptor sea una estación terrena o un caso más sencillo, de que se trate de un receptor de TV. Vamos a tratar entonces el caso de que la recepción se haga con un receptor de TV. Los equipos básicos necesarios para recibir una señal de satélite son: LNB y el receptor de satélite en sí.

El LNB es un dispositivo que en un solo bloque realiza las funciones de un LNA y un Down Converter que se utiliza en una Estación Terrena, ya que la señal que llega a la antena, al pasar por el LNB, la amplifica manteniendo fija la relación señal a ruido, y además la convierte en Fique esta en el rango de 950 a 1450 MHz.

Y el proceso de demodulación y de decodificación de la señal que se hacían en dos bloques distintos en la Estación Terrena, se llevan a cabo enteramente en el receptor de TV vía satélite.

En la figura 3.12 se muestra la configuración básica de un sistema de recepción.

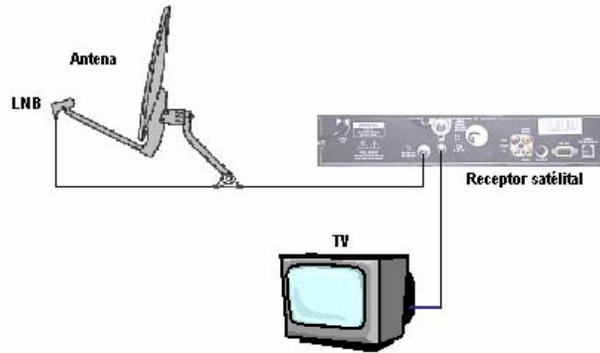


Figura 3.12 configuración básica de un sistema de recepción

3.6.4. El detector de nivel de intensidad

Actualmente se utilizan Instrumentos para detectar los niveles de intensidad de la señal recibida por una antena, los cuales son conocidos como sat finder y nos ayudan a orientar con mayor facilidad una antena parabólica hacia el satélite como se muestra en la figura 3.13



Figura 3.13 Sat finder

3.7. PARÁMETROS DEL SISTEMA SATELITAL

3.7.1. Potencia de transmisión y energía de Bit

Los amplificadores de alta potencia usados en los transmisores de la estación terrena y tubos de onda progresiva usados de manera normal, en el transponder de satélite, son dispositivos no lineales; su ganancia (potencia de salida contra potencia de entrada) depende del nivel de señal de entrada. Una curva característica de la potencia de entrada/salida se muestra en la figura 3.14. Puede observarse que, conforme la potencia de entrada se reduce a 5 dB, la potencia de salida se reduce a 2 dB. Hay una compresión de potencia obvia. Para reducir la cantidad de distorsión de intermodulación causada por la amplificación no lineal del HPA, la potencia de entrada debe reducirse (respaldarse) por varios dB. Esto permite que el HPA funcione en una región más lineal. La cantidad de nivel de salida de respaldo de los niveles clasificados será equivalente a una pérdida y es apropiadamente llamada *perdida de respaldo* (L_{bo}).

Para funcionar lo más eficiente posible debe operar un amplificador de potencia lo más cercano posible a la saturación. La *potencia de salida saturada* es designada P_o a simplemente P_t . La potencia de salida de un transmisor típico de estación terrena del satélite es mayor que la potencia

de salida de un amplificador de potencia de microondas terrena. Consecuentemente, cuando se trata con sistemas satelitales, P_t generalmente se expresa en dBW (decibeles con respecto a 1 W) en vez de dBm (decibeles con respecto a 1 mW)

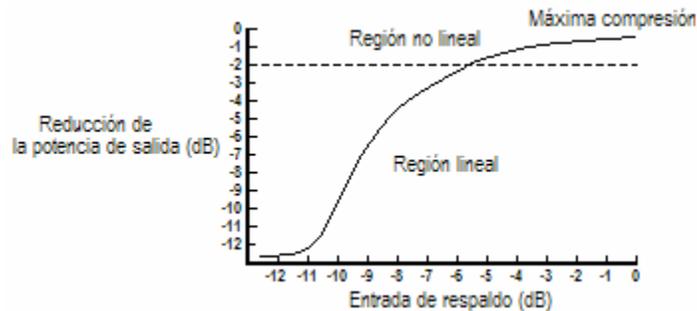


Figura 3.14. Curva característica de entrada/salida del HPA

La mayoría de los sistemas satelitales modernos usan transmisión por desplazamiento de fase (PSK), o modulación de amplitud en cuadratura (QAM), en vez de la modulación en frecuencia convencional (FM). Con PSK o QAM, la banda base de entrada generalmente es una señal PCM codificada con multicanalización por división de tiempo, la cual es digital por naturaleza. Además con PSK o QAM, se pueden codificar varios bits en un solo elemento de señalización de transmisión. Consecuentemente, un parámetro más importante que la potencia de la portadora es la *energía por bit* (E_b). Matemáticamente, E_b es

$$E_b = P_t T_b \quad (3.13)$$

en donde E_b = energía de un bit sencillo (joules por bit)
 P_t = potencia total de la portadora (watts)
 T_b = tiempo de un bit sencillo

O porque $T_b = 1/f_b$ en donde f_b es la razón de bit por segundo

$$E_b = \frac{P_t}{f_b} \quad (3.14)$$

3.7.2. Potencia Isotrópica radiada efectiva

Es la cantidad de potencia isotrópica radiada efectiva máxima que se emite a la salida de la antena del satélite hacia una localidad. Este parámetro depende de la ganancia que se forma con el contorno de la cobertura, por lo que sería distinto para cada localidad.

La potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE), se define como una potencia de transmisión equivalente y se expresa matemáticamente como

$$PIRE = P_r A_t \quad (3.15)$$

en donde PIRE= potencia isotrópica radiada efectiva (watts)

P_r = potencia total radiada de una antena (watts)
 A_t = ganancia de la antena transmisora (relación sin unidades)

Expresado como logaritmo

$$\text{PIRE (dBW)} = P_r \text{ (dBW)} + A_t \text{ (dB)} \quad (3.16)$$

Con respecto a la salida del transmisor

$$P_r = P_t - L_{bo} - L_{bf} \quad (3.17)$$

Por lo tanto

$$\text{PIRE} = P_t - L_{bo} - L_{bf} + A_t \quad (3.18)$$

En donde P_t = potencia de salida real del transmisor (dBW)
 L_{bo} = pérdidas por respaldo de HPA (dB)
 L_{bf} = ramificación total y pérdida de alimentador (dB)
 A_t = ganancia transmisora de la antena (dB)

3.7.3. Temperatura de ruido equivalente

Con los sistemas de microondas terrenas, el ruido introducido en un receptor o un componente dentro de un receptor comúnmente era especificado por el parámetro de la figura de ruido. En los sistemas de comunicación por satélite, es frecuentemente necesario diferenciar o medir el ruido en incrementos tan pequeños, como una décima o una centésima de un decibel. La figura de ruido, en su forma estándar, es inadecuada para cálculos tan precisos. Consecuentemente, es común usar temperatura ambiente (T) y temperatura de ruido equivalente (T_e) cuando se evalúa el rendimiento de un sistema satelital. La potencia total de ruido se expresa matemáticamente como

$$N = KTB \quad (3.19)$$

Despejando T nos da

$$T = \frac{N}{KB} \quad (3.20)$$

en donde N = potencia total de ruido (watts)
 K = constante de Boltzman (joules por grado Kelvin)
 B = ancho de banda (hertz)
 T = temperatura ambiente (grados Kelvin)

Y de la ecuación de la figura general de ruido tenemos que

$$NF = 1 + \frac{T_e}{T} \quad (3.21)$$

en donde T_e = temperatura de ruido equivalente (grados Kelvin)
 NF = figura de ruido expresada como un valor absoluto
 T = temperatura ambiente (grados Kelvin)

Despejando T_e

$$T_e = T(NF-1) \quad (3.22)$$

Típicamente las temperaturas de ruido equivalentes de los receptores usados en el transponder de los satélites son de aproximadamente 1000 K. Para los receptores de las estaciones terrenas los valores de T_e están entre 20 y 1000 K. La temperatura de ruido equivalente es generalmente más útil cuando se expresa logarítmicamente con la unidad de dBK, de la siguiente manera.

$$T_e(\text{dBK}) = 10 \log T_e \quad (3.23)$$

Para una temperatura de ruido de 100 K, $T_e(\text{dBK})$ es

$$T_e(\text{dBK}) = 10 \log 100 \text{ o } 20 \text{ dBK} \quad (3.24)$$

La temperatura de ruido equivalente es un valor hipotético que puede calcularse pero no puede medirse. La temperatura de ruido equivalente frecuentemente se usa en vez de la figura de ruido, porque es un método más exacto para expresar el ruido aportado por un dispositivo o un receptor cuando se evalúa su rendimiento. Esencialmente, la temperatura de ruido equivalente (T_e) representa la potencia de ruido presente a la entrada a un dispositivo más el ruido agregado internamente por ese dispositivo simplemente evaluando una temperatura de ruido equivalente a la entrada.

3.7.4. Densidad de ruido

La densidad de ruido (N_0) es la potencia de ruido total normalizado a un ancho de banda de 1 Hz, o la potencia de ruido presente en un ancho de banda de 1 Hz. Matemáticamente, la densidad de ruido es

$$N_0 = \frac{N}{B} = kT_e \quad (3.25)$$

En donde N_0 = densidad de ruido (W/Hz) (No generalmente se expresa como simplemente watts; el por hertz es implicado en la definición de N_0)
 N = potencia de ruido total (watts)
 B = ancho de banda (hertz)
 k = constante de Boltzman (joules por grados Kelvin)
 T_e = temperatura de ruido equivalente (grados kelvin)

Expresado como logaritmo

$$N_0(\text{dBW/Hz}) = 10 \log N - 10 \log B \quad (3.26)$$

$$= 10 \log K + 10 \log T_e \quad (3.27)$$

3.7.5. Relación de densidad de portadora a ruido

C/N_0 es el promedio de la relación de densidad de potencia a ruido de la portadora de banda ancha. La potencia de la portadora de banda ancha es la potencia combinada del conducto y sus bandas laterales asociadas. El ruido es el ruido térmico presente en un ancho de banda de 1 Hz normalizado. La relación de la densidad de portadora a ruido, también se puede escribir como una función de la temperatura de ruido. Matemáticamente, C/N_0 es

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{KT_e} \quad (3.28)$$

Expresando como logaritmo

$$\frac{C}{N_0} (dB) = C (dBW) - N_0 (dBW) \quad (3.29)$$

3.7.6. Relación de la densidad de energía de bit a ruido

E_b/N_0 es uno de los parámetros más importantes y más usados, cuando se evalúa un sistema de radio digital. La relación E_b/N_0 es una manera conveniente de comparar los sistemas digitales que utilizan diferentes tasas de transmisión, esquemas de modulación o técnicas de codificación. Matemáticamente, E_b/N_0 es

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C / f_b}{N / B} = \frac{CB}{Nf_b} \quad (3.30)$$

E_b/N_0 es un término conveniente usado para los cálculos del sistema digital y comparaciones de rendimiento, pero en el mundo real, es más conveniente medir la relación de la densidad de potencia a ruido de la portadora de banda ancha y convertirlo en E_b/N_0 . De la ecuación anterior se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} \times \frac{B}{f_b} \quad (3.31)$$

La relación E_b/N_0 es el producto de la relación de portadora a ruido (C/N) y la relación de ancho de banda del ruido a tasa de bit (B/f_b). Expresada como logaritmo

$$\frac{E_b}{N_0} (dB) = \frac{C}{N} (dB) + \frac{B}{f_b} (dB) \quad (3.32)$$

La energía por bit (E_b) permanecerá constante, siempre y cuando la potencia de la portadora total de banda ancha \odot y la tasa de transmisión (bps) permanezcan sin ningún cambio. Además, la densidad de ruido (N_0) permanecerá constante, siempre que la temperatura de ruido permanezca constante. La siguiente conclusión se puede hacer para la potencia de una portadora específica, tasa de bit y temperatura de ruido, la relación E_b/N_0 , sin importar la técnica de codificación, esquema de modulación o ancho de banda usado.

3.7.7. Relación de ganancia a temperatura de ruido equivalente

Esencialmente la relación de ganancia a temperatura de ruido equivalente (G/T_e) es una figura de mérito usada para representar la calidad de un satélite en un receptor de una estación terrena. La G/T_e de un receptor es la relación de la ganancia de la antena de recepción a la temperatura de ruido equivalente (T_e) del receptor. Debido a las potencias extremadamente pequeñas de la portadora de recepción que normalmente se experimentan con los sistemas satelitales, frecuentemente un amplificador de bajo ruido (LNA; Low Noise Amplifier) está físicamente situado en el punto de alimentación de la antena. Cuando este es el caso, G/T_e es una relación de la ganancia de la antena receptora más la ganancia de la antena receptora más la ganancia del LNA, a la temperatura de ruido equivalente. Matemáticamente la relación de la ganancia a temperatura equivalente es

$$\frac{G}{T_e} = \frac{A_r + A(LNA)}{T_e} \quad (3.33)$$

Expresado en logaritmos, tenemos

$$\frac{G}{T_e} (\text{dBK}^{-1}) = A_r (\text{dB}) + A(LNA) (\text{dB}) - T_e (\text{dBK}) \quad (3.34)$$

G/T_e es un parámetro muy útil para determinar las relaciones E_b/N_0 y C/N , en el transponder del satélite y receptores de la estación terrena. G/T_e , es esencialmente el único parámetro requerido en un satélite o un receptor de estación terrena, cuando se completa un cálculo de enlace.

3.8. ECUACIONES DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL

El rendimiento de error de un sistema satelital digital es bastante predecible, la figura 3.15 muestra un diagrama a bloques simplificado de un sistema satelital digital e identifica las diferentes ganancias y pérdidas que pueden afectar el rendimiento del sistema. Cuando se evalúa el rendimiento de un sistema satelital digital, los parámetros de subida y de bajada se consideran, primero por separado, después el rendimiento general se determina combinándolos de la manera adecuada. Tomando en cuenta, que una microonda digital o radio satelital simplemente significa que las señales de banda base originales y remoduladas son digitales por naturaleza. La porción de RF de radio es analógica; es decir, FSK, PSK, QAM o alguna otra modulación de alto nivel en una portadora de microondas analógica.

3.8.1. Ecuaciones de enlace

Es un procedimiento matemático que tiene como finalidad obtener los valores de potencia que se necesitan para comunicar dos o más 3 estaciones terrenas, tomando en cuenta la consideración físicas relacionadas con el viaje de la señal por el espacio libre, con el procesamiento que recibe por parte de los equipos (entre ellos el satélite mismo) y a la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.

Las siguientes ecuaciones de enlace se usan para analizar por separado las secciones de subida y de bajada de un sistema satelital de portadora de frecuencia de radio sencilla. Estas ecuaciones consideran sólo las ganancias y pérdidas ideales, así como los efectos de ruido térmico asociadas con el transmisor de la estación terrena, receptor de la estación terrena y el transponder del satélite.

Ecuación de subida

$$\frac{C}{N_0} = \frac{A_t P_R (L_p L_u) A_R}{K T_e} = \frac{A_t P_r (L_p L_u)}{K} X \frac{G}{T_e} \quad (3.35)$$

En donde L_d y L_u son las pérdidas atmosféricas de subida y de bajada adicionales, respectivamente. Las señales de subida y de bajada deben pasar por la atmosfera de la Tierra, en donde son absorbidas parcialmente por la humedad, oxígeno y partículas en el aire. Dependiendo del ángulo de elevación, la distancia de la señal de RF viaja por la atmósfera varía de una estación terrena a otra. Debido a que L_p , L_u y L_d representan pérdidas, son valores decimales menores a 1. G/T_e es la ganancia de la antena receptora más la ganancia del LNA dividida por la temperatura de ruido equivalente de la entrada.

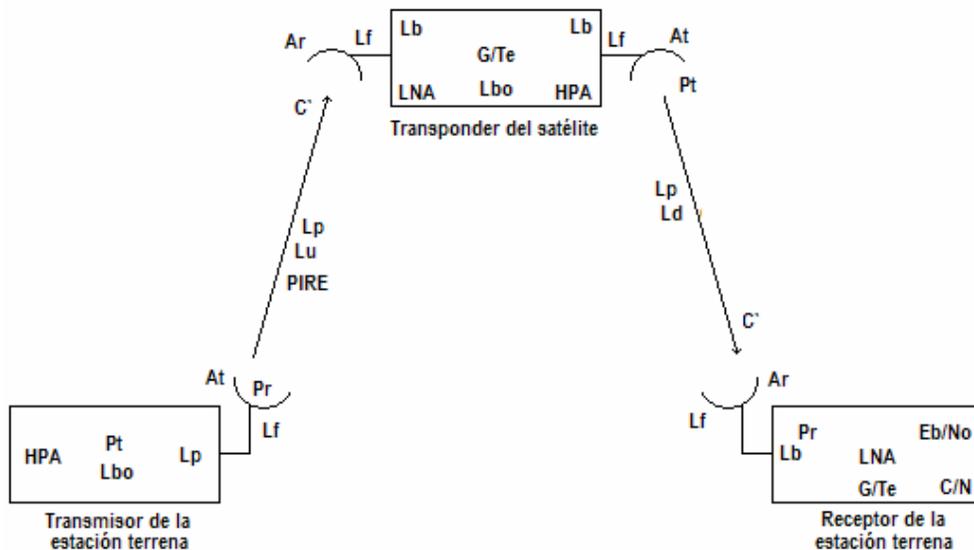


Figura 3.15. Sistema satelital global mostrando las ganancias y pérdidas incurridas en las secciones de subida y de bajada. HPA, amplificador de alta potencia; P_t potencia de salida HPA; L_{bo} pérdida por respaldo; L_f pérdida del alimentador; L_b pérdida de ramificación; A_t ganancia de la antena transmisora; P_r potencia total radiada = $P_t - L_{bo} - L_b - L_f$; PIRE potencia isotrópica radiada efectiva L_u pérdidas de subida adicionales debido a la atmósfera; L_p pérdida de la trayectoria; A_r ganancia

de la antena receptora; G/T_e relación de ganancia a ruido equivalente; L_d pérdidas de bajada adicionales debido a la atmósfera; LNA amplificador de bajo ruido; C/T_e relación de portadora a ruido equivalente; C/N_0 relación de la densidad de portadora a ruido; E_b/N_0 relación de la energía de bit a ruido; C/N , relación de portadora a ruido.

Expresada como un logaritmo.

$$\frac{C}{N_0} = \underbrace{10 \log A_t P_r}_{\text{PIRE}} - \underbrace{20 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)}_{\text{pérdida de trayectoria de espacio libre}} + \underbrace{10 \log \left(\frac{G}{T_e} \right)}_{\text{satélite } G/T_e} - \underbrace{10 \log L_u}_{\text{pérdidas atmosféricas adicionales}} - \underbrace{10 \log K}_{\text{constante de Boltzman}} \quad (3.36)$$

$$= \text{PIRE}(dBW) - L_p(dB) + \frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) - L_u(dB) - K(dBWK) \quad (3.37)$$

Ecuación de bajada

$$\frac{C}{N_0} = \frac{A_t P_R (L_p L_d) A_r}{K T_e} = \frac{A_t P_r (L_p L_d)}{K} X \frac{G}{T_e} \quad (3.38)$$

Expresada como logaritmo

$$\frac{C}{N_0} = \underbrace{10 \log A_t P_r}_{\text{PIRE satélite}} - \underbrace{20 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)}_{\text{pérdida de trayectoria de espacio libre}} + \underbrace{10 \log \left(\frac{G}{T_e} \right)}_{\text{satélite } G/T_e} - \underbrace{10 \log L_d}_{\text{pérdidas atmosféricas adicionales}} - \underbrace{10 \log K}_{\text{constante de Boltzman}} \quad (3.39)$$

$$= \text{PIRE}(dBW) - L_p(dB) + \frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) - L_d(dB) - K(dBWK) \quad (3.40)$$

Una vez calculada la $\left(\frac{C}{N} \right)_{TOTAL}$ del sistema se procede a evaluar el enlace:

Normalmente el usuario pide cierto valor de BER o sea de calidad de señal. De la gráfica de probabilidad de error contra C/N en función de la modulación se conoce la C/N que se requiere. Si el cálculo del enlace proporciona una C/N igual o mayor que la requerida el enlace es operable y se

procede a calcular la potencia del HPA; si la C/N calculada es inferior a la requerida el cálculo debe repetirse variando ciertos valores, por ejemplo el diámetro de la antena.

Los datos que se requieren para realizar el cálculo de enlace son:

Datos del satélite

- Longitud θ_s ($^{\circ}$ W)
- Banda de operación (C, K, Ku, Ka)
- Frecuencia ascendente
- Frecuencia descendente
- Transpondedor (Nombre, Ancho de banda Bw) ej 12K, 54 MHz
- Región
- Back off de entrada
- Back off de salida
- Atenuador de posición

Datos de la señal a transmitir

- Velocidad de transmisión
- Tipo de modulación
- Roll off (max 14%)
- FEC (1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{7}{8}$)
- BER (10^{-4} , 10^{-7})

Datos de las estaciones terrenas (Et) transmisora y receptora

- Localidad
- Latitud θ_i
- Longitud θ_L
- Diámetro de antena
- Ganancia de enlace en Tx
- Ganancia de la antena en Rx
- Temperatura total del sistema
- Eb/No

3.8.2. Consideraciones

Perdidas por apuntamiento. Son debidas a un posible error en el apuntamiento de la antena al satélite. Su valor típico es de 0.3 dB

Perdidas por Absorción atmosférica. Es la degradación de la potencia debido a las partículas ionizadas en la atmósfera. Su valor típico es de 0.5 dB.

Perdidas por polarización. Se considera que el polarizador montado en la antena puede introducir una pérdida de hasta 0.2 dB.

A estos 3 últimos valores se les considera en conjunto como pérdidas misceláneas con un valor total máximo de 1 dB.

Margen de atenuación por precipitación. Es la cantidad en dB que se pierden debido a la lluvia. Tiene diferentes valores por cada zona climática. Este valor está en función de la frecuencia por lo que tendrá un valor distinto para el enlace ascendente y para el enlace descendente. También del grado de disponibilidad

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTI DWELLING UNIT

En este capítulo se aborda el tema principal de esta tesis, la implementación de un sistema multi residencial o sistema Multi Dwelling Unit MDU, en donde se comienza explicando los conceptos básicos de comunicaciones de radio, como son: Banda de Frecuencia, Ancho de Banda, Atenuación, Ganancia, Ruido. Factores que intervienen en un sistema de comunicación.

Daré la definición de los componentes que constituyen un sistema MDU, como son los materiales de instalación los cuales constan de antenas, receptores digitales, cable, LNB's y dispositivos para la distribución, así como el medio por el cual la señal viaja y es recibida para llegar al usuario final.

Es importante mencionar las frecuencias de operación para la recepción de la señal en banda Ku, Los tipos de LNB'S y las características que deben tener para recibir la señal deseada.

En este sistema, también existen topologías de red, que nos sirven para una mejor distribución y adecuarlas a las necesidades del o los usuarios.

Para estos sistemas, es necesario conocer como es una instalación típica o básica de un sistema de televisión satelital, para con esto comprender los fundamentos teóricos y el funcionamiento de cada una de las etapas que hacen la distribución de la señal.

Conociendo el funcionamiento de este sistema, se puede realizar el diseño de este dependiendo de la topología adecuada y el lugar en donde se va instalar, se realiza un diagrama a bloques en donde se tengan cada una de las distancias desde la antena, cada una de las etapas hasta el punto final y con esto realizar otro diagrama con los dispositivos electrónicos que se utilizaran para el MDU el cual sirve como base para realizar el cálculo de atenuaciones y ganancias, esto con el fin de tener un sistema totalmente balanceado y que contenga la misma ganancia en cada uno de los puntos.

En cuanto a la aplicación se enuncian las normas de instalación del sistema, los materiales y herramientas necesarias, así como la identificación de las etapas. Es importante mencionar el mantenimiento preventivo y correctivo ya que de esto depende el óptimo funcionamiento de nuestro sistema.

AL final se enuncia una lista de los proveedores de estos dispositivos para sistemas MDU, en esta aplicación se realiza el diseño con dispositivos de la marca Global Communications, ya que son los más confiables, de mejor calidad, prácticos y funcionales en el mercado

4.1. CONCEPTOS BÁSICOS

UNIDAD MULTI RESIDENCIAL (MDU; Multi Dwelling Unit).- es un sistema de señales de televisión vía satélite el cual nos permite conectar por medio de un dispositivo llamado multi interruptor

(multiswitch) a más de dos receptores digitales a una sola antena, procurando que el nivel de señal sea homogéneo en todos sus receptores.

BANDA DE FRECUENCIA. Es un intervalo de frecuencias al cual se le da un uso específico. Por ejemplo, la banda audible que va desde el límite inferior de 20 Hz hasta el límite superior de 20 KHz son el grupo de frecuencias que puede percibir el ser humano.

ANCHO DE BANDA.- es la diferencia entre los valores superior e inferior de una banda de frecuencias dada. Normalmente a los equipos de recepción de señal se les especifica su ancho de banda para saber que señales pueden manejar, ejemplo: voz, datos y video.

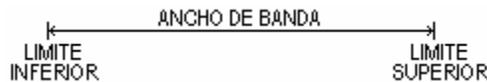


Figura 4.1. Ancho de Banda

FRECUENCIA MUY ALTA (VHF; Very High Frequency).- Es un intervalo de radiofrecuencias que comprende desde los 54 MHz hasta los 216 MHz. Algunas estaciones de radio y de televisión comercial transmiten dentro de este rango de frecuencias. También es conocido como ondas métricas debido a que sus antenas tienen tamaños que van de uno a diez metros.



Figura 4.2 Intervalo de VHF

FRECUENCIA ULTRA ALTA (UHF; Ultra High Frequency).- Es un intervalo de radiofrecuencias que comprende desde los 470 MHz hasta los 890 MHz. Uno de sus usos es en estaciones de televisión comercial. También son conocidas como ondas disimétricas ya que sus antenas son de tamaño menor a un metro.



Figura 4.3. Intervalo de UHF

BANDA L.- Es el intervalo de frecuencias que comprende desde los 950 MHz hasta los 2150 MHz. Se usa principalmente en transmisiones vía satélite para servicios de radiolocalización marítima, aérea y terrestre. Su tamaño de antena es menor que el de VHF y UHF, por lo que para su recepción es necesario el uso de reflectores parabólicos para concentrar una mayor cantidad de señal en la antena.



Figura 4.4. Intervalo para la Banda L

BANDA Ku.- es un intervalo de frecuencias que comprende desde los 11 GHz hasta los 18 GHz. Su uso es básicamente en transmisiones de televisión vía satélite. Debido a la frecuencia que maneja

esta banda, el diámetro de las antenas usadas para la transmisión y recepción de estas señales es muy pequeño. Es necesario el empleo de reflectores parabólicos con el fin de concentrar la señal de la antena.

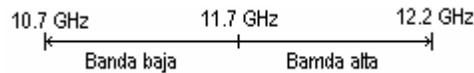


Figura 4.5. Intervalo para la Banda Ku

CORRIENTE ELECTRICA.- Es el flujo de electrones a través de un conductor eléctrico. Hay dos tipos de corriente: la continua y la alterna. La continua (C.D. ó C.C), es la que no tiene variación con respecto al tiempo. Este tipo de corriente se encuentra por ejemplo en las baterías y los eliminadores. La corriente alterna (C.A. ó A.C.) sí presenta variación con respecto al tiempo y la podemos encontrar en las líneas de alimentación de una casa.

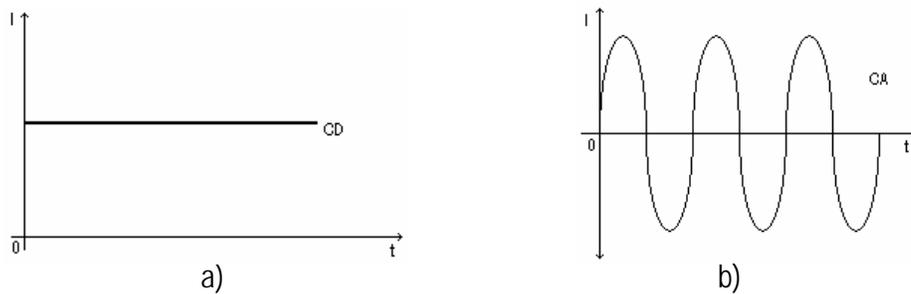


Figura 4.6. Tipos de corriente eléctrica
a) corriente directa o continua; b) corriente alterna

VOLTAJE.- El voltaje es la diferencia de potencial por medio del cual hace que fluya una corriente eléctrica entre dos puntos. Existen dos tipos de voltaje: el alterno y el continuo. El voltaje alterno es el que presenta variación en el tiempo y se emplea comúnmente en las casas habitación. El voltaje continuo es el que no presenta variación en el tiempo y se encuentra de igual modo en baterías y eliminadores.

DECIBEL (dB).- Es la unidad estándar que sirve para expresar la relación entre dos niveles de potencia. El decibel es usado para indicar una ganancia o atenuación de señal entre la entrada o salida de un equipo o dispositivo.

GANANCIA.- Es el incremento de intensidad de una señal al pasar a través de un dispositivo. La ganancia se expresa en decibeles.

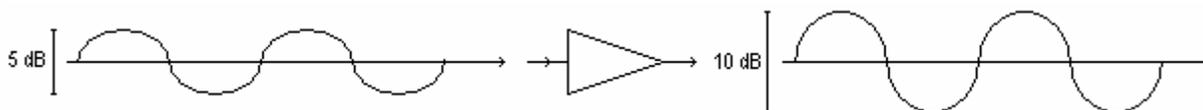


Figura 4.7. Ganancia

ATENUACIÓN.- es la pérdida gradual de intensidad de una señal al pasar por un equipo o al viajar en un medio de transmisión que puede ser aire, cables, etc. La atenuación también se expresa en decibeles.

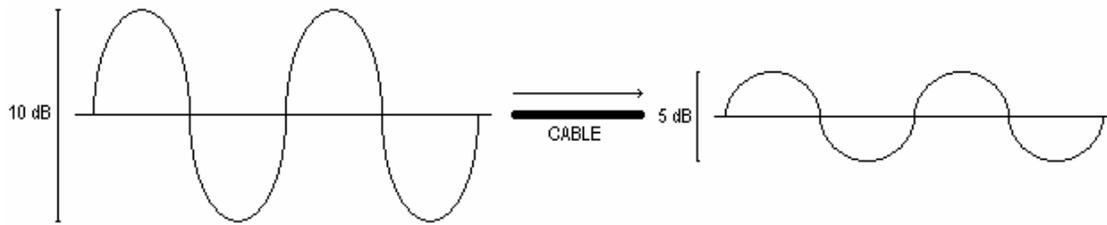


Figura 4.8 Atenuación

BACKBONE.- En sistemas de comunicación, el backbone, o columna vertebral, nos presenta la línea principal de transmisión; es decir, distribuye la señal a través del sistema completo. Comúnmente se le conoce también como línea troncal. Las líneas de transmisión que forman las troncales son de mayor capacidad que las que se conectan a ésta.

PORTADORA.- Es una señal en la cual introduce la información para poder viajar largas distancias. La portadora nos indica la frecuencia a la cual se está transmitiendo.

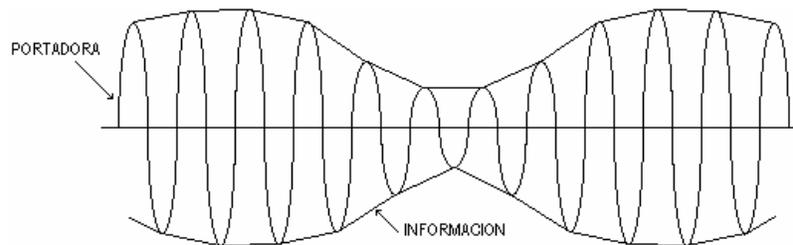


Figura 4.9. Señal Portadora

RUIDO.- es toda señal indeseable en un sistema electrónico. El ruido puede ser provocado por diferentes fuentes como son: motores, transformadores, fuentes electromagnéticas, etc. En un sistema analógico provoca que la señal original se distorsione o se pierda. Por ejemplo, en una televisión aparecen rayas o sombras en la pantalla, generalmente acompañadas de sonido diferentes al audio original del programa transmitido. Hay que recordar que en los sistemas digitales se manejan procesos de corrección de error, lo que hace que el ruido no aparezca como una distorsión pero sí como un alto índice de error, lo cual puede provocar a su vez que la señal se pierda.



Figura 4.10. Ruido en una señal

RELACIÓN SEÑAL/RUIDO.- Es la razón entre las amplitudes de la señal deseada y del ruido en el mismo punto. Normalmente esta relación se expresa en decibeles, da idea de la sensibilidad de un receptor.

4.1.1. Componentes de una instalación básica

Antena. - Es un dispositivo que se utiliza para transmitir y recibir ondas de radio. Para este diseño se utilizarán antenas parabólicas tipo "Offset", es decir de **foco desplazado**. Estas antenas son de diferentes tamaños, que va desde los 75 cm hasta los 120 cm. De diámetro, conforme aumenta el tamaño de esta aumenta la ganancia de recepción de la misma.

Cabe hacer mención que se fabrican antenas de 180 cm y 240 cm las cuales no se utilizan en instalaciones básicas, si no que estas se pueden requerir para el diseño de un sistema MDU.

En cualquier instalación básica es fundamental seleccionar el tamaño de la antena, de lo contrario se pueden tener consecuencias él la recepción de la señal, como son:

- Bajos niveles de señal
- Pérdidas de señal al presentarse lluvia ligera
- Interrupciones de señal

Para la elección del tamaño de la antena depende de varios factores como son:

- Región de cobertura del sistema
- Condiciones climatológicas del lugar de instalación
- Tipo de instalación que se va a realizar (MDU o instalación básica)

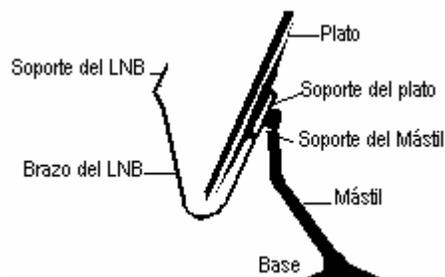


Figura 4.11. Partes que conforma una antena

Ganancia de la antena.- es muy importante elegir la antena del tamaño adecuado, que en medida que aumenta el tamaño de esta, aumenta la ganancia de la señal.



a) Antena de 75 cm



b) Antena de 76 cm



c) Antena de 120 cm

Figura 4.12 Tamaños de antenas

Receptor digital.- Su función es recibir y decodificar la información que llega del LNB para enviar al televisor del usuario. Funciona como un receptor de radiofrecuencia del LNB. Proporciona a su vez voltaje de alimentación al LNB (18 V ó 13 V) dependiendo de la polarización del canal seleccionado).

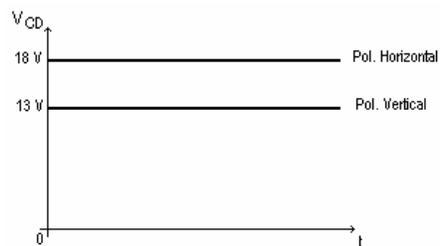


Figura 4.13 Voltajes que proporciona el receptor digital

También envía un tono de 22 KHz de 0.6 V_p para la sección de la banda alta de Ku (En el tipo de polarización circular no aplica)

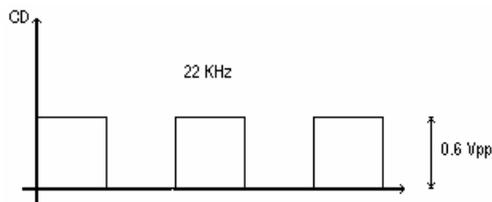


Figura 4.14. Tono que proporciona el receptor digital

4.1.2. Rangos de operación

Los receptores digitales que se manejan en la presente tesis tienen ciertos límites en los niveles máximo y mínimo de señal que deben recibir para su correcta operación, la cual se encuentra dentro de un rango que va de los -30 dBm a los -65 dBm.

En la figura 4.15. se muestra un esquema básico de un sistema de recepción de señal de TV satelital.

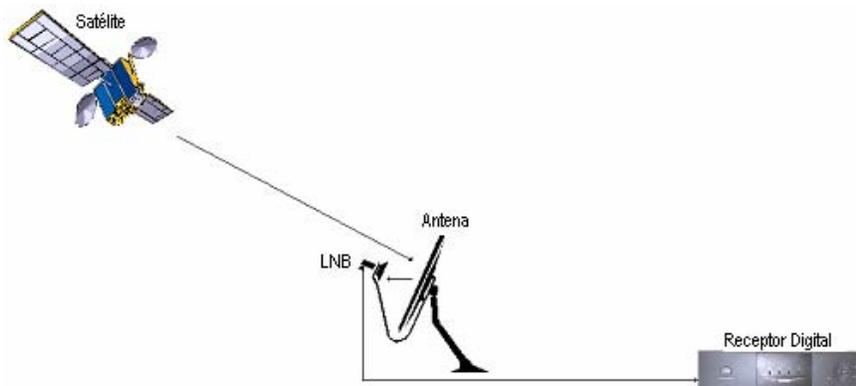


Figura 4.15 Esquema básico de un sistema de recepción de señal de Tv satelital

La antena recibe la señal proveniente del satélite, la refleja con el plato y la concentra en el punto focal donde está colocado el LNB, el cual recibe la señal en banda Ku, la amplifica y la convierte en banda L enviándola al receptor digital a través del cable coaxial RG-6.

En cualquier instalación, la señal sufre cierta atenuación, la cual debe considerarse para calcular el nivel con el que la señal llegará al receptor.

En un sistema MDU, el manejo de la señal se complica al intervenir mas elementos; esta se atenúa, lo cual obliga a realizar una serie de ajustes para asegurar niveles de recepción adecuados en cada receptor digital del sistema.

Existen dos parámetros que definen los niveles aceptables para la recepción de señal: estos son:

- Relación portadora/ruido (C/N)
- Nivel de entrada de portadora

Relación Portadora a Ruido C/N (Carrier to Noise). Un enlace satelital debe ser diseñado para proporcionar lo mas económicamente posible comunicaciones confiables y de buena calidad entre dos puntos en la Tierra. Para esto, la señal emitida por la estación transmisora debe llegar a la estación receptora con un nivel adecuado para garantizar la calidad requerida, a pesar de todas las fuentes de ruido que degraden la señal.

Si observamos en un analizador de espectros la relación portadora a ruido de una señal, se vería parecida a la siguiente figura 4.16

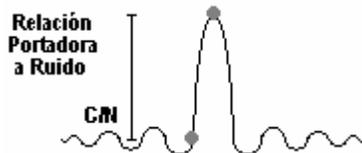


Figura 4.16. Relación señal a ruido

La relación portadora a ruido mínima en los receptores que se manejan en la presente tesis es de 8 dB; es decir, que el nivel de la portadora recibida debe ser un mínimo de 8 dB más grande que el nivel de ruido acumulada de todas las fuentes que lo generan en todo enlace. El rango de la relación Portadora a Ruido (C/N) para la recepción de esta señal en estos receptores, va de los 8 a 16 dB.

Nivel de entrada de portadora. Según las especificaciones de los fabricantes, el nivel de entrada que esperan recibir los receptores digitales van desde los -30 hasta los -65 dBm. Para comprenderlo mejor veamos la siguiente figura 4.17

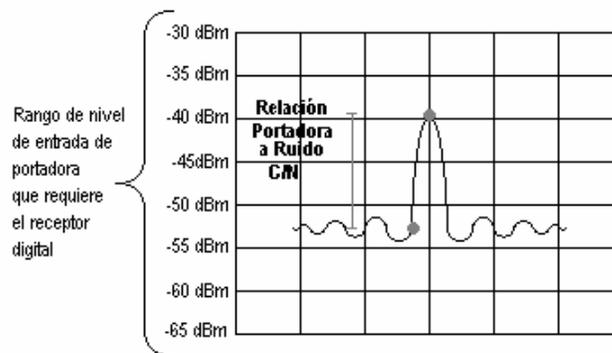


Figura 4.17. Nivel de entrada de portadora

Como se observa en la gráfica de la figura 4.17, el nivel de C/N debe estar entre el nivel mínimo y el máximo de entrada de señal del receptor digital, para que este funcione correctamente.

Cable coaxial CATV-6 (RG-6).- Es un tipo de cable utilizado para la transmisión de señales de televisión en uso doméstico. Esta variedad de cable posee características como impedancia y diámetro basadas en las normas del cable RG-6. Esta constituido por un conductor sólido de cobre, acero y cobre (CCS) recubiertos por un aislamiento de polietileno celular. Alrededor del aislamiento se encuentra un blindaje de cinta aluminizada y otro de malla de aluminio. Por último se encuentra una cubierta de PVC.

Debido a la similitud del cable CATV con RG se presenta en la siguiente tabla una comparación entre estos dos tipos de cable.

Tipo	Cobertura de malla (%)	Diámetro total (mm)	Impedancia (W)	Velocidad de propagación (%)	Atenuación a 211 MHz dB/100m	Conductor (mm)	Aislamiento (mm)
CATV 59	40-60	6.1	75	78-81	12.9	0.81	3.6
CATV 6	60-90	7	75	78-81	10.1	1.02	4.6
CATV 11	60	10.2	75	81	6.6	1.63	7.1
RG-59	93	6.2	75	66	16.4	0.57	3.71
RG-6	60	7	75	83	10	1.02	4.57
RG-11	95	10.4	95	66	9.5	1.15	7.29

Tabla 4.1. Comparación del cable coaxial CATV y RG

Máxima Atenuación (dB/100 ft) @ 68°F

FRECUENCIA	ATENUACION RG-59 (dB)	ATENUACION RG-6 (dB)	ATENUACION RG-11 (dB)
1000 MHz	9.83	7	4.26
1150 MHz	9.44	7.62	4.57
1300 MHz	10.05	8.22	5.18
1450 MHz	16.66	8.53	5.48
1600 MHz	11.27	8.83	5.79
1750 MHz	11.88	9.14	6.09
1900 MHz	12.19	9.75	6.4
2000 MHz	12.49	10.05	6.7
2150 MHz	13.1	10.36	7

Tabla 4.2. Atenuación en los tipos de cable RG

Como puede notarse en la tabla 4.2., el cable RG-59 presenta más atenuación que el RG-6. Esto se observa más claramente conforme aumenta la frecuencia. Debemos recordar también la banda de frecuencias que maneja desde el LNB hasta el receptor digital en banda "L" (950 MHz a 2150 MHz), por lo que esto hace aún más crítica la utilización de este tipo de cable.

En todos los sistemas MDU deben cuidarse los niveles de señal que se manejan desde la antena hasta cada uno de los receptores digitales. Estos niveles van disminuyendo conforme aumentan los sistemas de distribución y la cantidad de cable. En la figura 4.18 se muestran los calibres de cable coaxial comúnmente utilizados en instalaciones de señal de televisión.

Cuando se calcule la atenuación que se producirá en el cable coaxial, siempre deberá hacerse utilizando la frecuencia más alta que se maneje en el sistema, de lo contrario la atenuación calculada será menor a la que presente el sistema utilizando frecuencias más altas. Como base la frecuencia a la cual se deberán realizar todos los cálculos es: 1750 MHz.

El fabricante deberá proporcionar las características tales como: frecuencia, distancia, temperatura, etc., con las cuales se realizaron las pruebas correspondientes del cable que presentan. Ej (7 dB/100 ft @ 68 °F a una frecuencia de 1000 MHz).

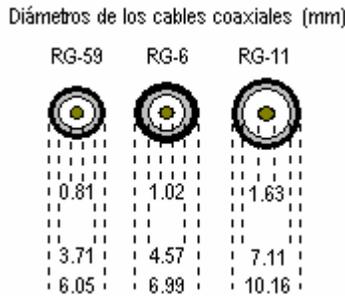


Figura 4.18. Tipos y diámetros de cable coaxial

Para el cálculo de la atenuación se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida (frec. Deseada)} = (\text{Perdida conocida})^{1/2} (f \text{ deseada} / f \text{ conocida})$$

Siempre que se realice un diseño de sistemas MDU, debe tenerse presente para poder balancear los niveles de señal en las salidas de los componentes del sistema MDU.

LNB sencillo. El LNB es el elemento receptor que capta la señal del satélite que rebota en el plato reflector de la antena. El LNB recibe esta señal en banda "Ku", la convierte a banda "L" t la amplifica para enviarla al receptor digital.

Al instalar los diferentes tipos de LNB, se debe cuidar la posición en la cual se colocan éstos, ya que este es uno de los factores que influyen para obtener el máximo nivel de recepción. Es importante mencionar que una vez fijada la antena, deberá realizarse un ajuste el cual consiste en mover el LNB sobre su propio eje con pequeños movimientos, hasta que se observe el máximo nivel en la barra de calidad.

Señales entre el receptor Digital y LNB. Existe una serie de señales entre el LNB y el receptor digital que hacen posible la comunicación entre ambos; dichas señales viajan en diferentes direcciones, tal y como se muestra en la siguiente figura 4.19.

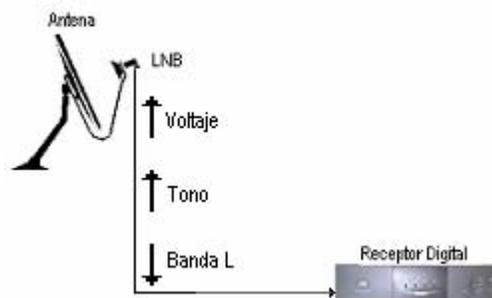


Figura 4.19 Señales entre el LNB y el receptor digital

- Polarización. Es la dirección en la que se propaga el campo eléctrico en una señal electromagnética. Esta puede ser lineal (Vertical u Horizontal) o circular, en esta tesis nos enfocaremos en la lineal. La manera en la que el receptor digital indica al LNB si espera recibir una señal en polarización Vertical u Horizontal es enviándole un voltaje determinado (18 volts para horizontal y 13 volts para vertical).
- Selección de banda. El satélite PAS 9 maneja las bandas de frecuencia "C", "Ku" y "L", sin embargo la banda con la que trabajaremos en la parte alta de la banda Ku, por lo que es necesario que el receptor digital envíe un tono de 22 KHz al LNB para que reciba la banda adecuada de trabajo.
- Banda de frecuencia (R.F). El LNB recibe la señal del satélite en banda Ku la procesa y cambia la frecuencia a banda L (950 a 2150 MHz). Una vez en su nueva frecuencia la señal viaja desde el LNB hasta el receptor digital a través del cable coaxial RG-6 para ser procesada.

4.2. FRECUENCIAS UTILIZADAS

El LNB que utilizaremos es del tipo universal, lo cual quiere decir, que este puede recibir tanto la parte baja como la parte alta de la banda Ku. En este caso nos enfocaremos como anteriormente se había mencionado en la parte alta, por lo que el esquema anterior quedaría de la siguiente forma como lo muestra la figura 4.20.

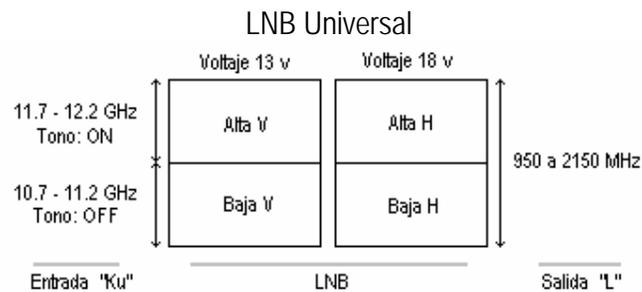


Figura 4.20 Rangos de operación de un LNB universal

LNB dual (Universal). El LNB dual tiene la característica de contar con dos salidas, lo cual da ventaja de poder suministrar a dos receptores digitales con una sola antena como lo muestra la figura 4.21.

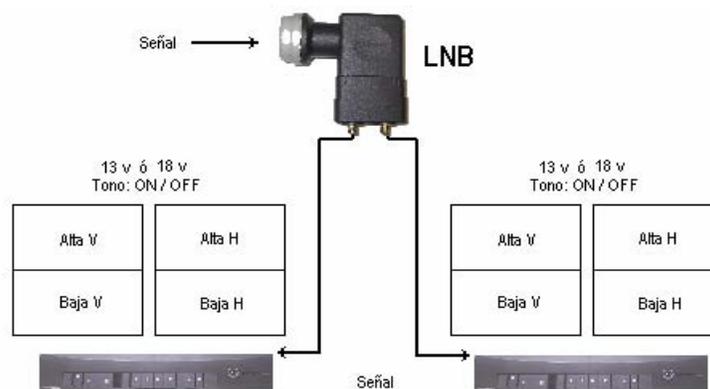


Figura 4.21 Función del LNB dual

4.3. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Distribución de señales de televisión. El sistema de distribución, se encarga de recibir cualquier señal y dividirla a varios puntos de recepción.

Para dividir la señal se requiere de divisores. El divisor es un dispositivo cuya función es dividir la señal y entregarla a otros componentes o equipos.

En el sistema de recepción de televisión abierta, se pueden utilizar divisores. Esto es común debido a que se maneja una sola señal por el cable (RF).

Existen varios tipos de divisores, su uso dependerá del tipo de señal que se maneje.

DC pass, Divisor con paso de voltaje. Es un dispositivo que solo permite pasar el voltaje por una de sus salidas como lo muestra la Figura 4.22.

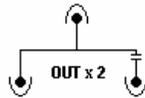


Figura 4.22. Divisor DC pass

Divisor sin paso de voltaje que permite pasar el voltaje por todas las salidas como lo muestra la figura 4.23.

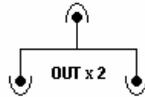


Figura 4.23 Divisor de señal con paso de voltaje

Divisor sin paso de voltaje que bloquea el voltaje en sus salidas como lo muestra la figura 4.24.

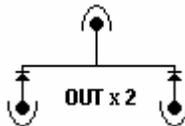


Figura 4.24 Divisor de señal sin paso de voltaje

Uso incorrecto del divisor. Supongamos que tenemos un divisor que abarca la gama de frecuencias adecuada y queremos conectarlos a dos receptores digitales con el mismo LNB (Sencillo). Al realizar lo anterior, se pueden presentar dos casos.

Cuando se utilicen divisores para la instalación del sistema MDU, debe verificarse antes que nada que el divisor abarque la gama de frecuencias de la señal que se desea dividir. Por ejemplo, no es lo mismo colocar un divisor entre el LNB y el receptor digital (banda L que va de los 950 a los 2150 MHz) que colocarlo entre el receptor digital y el televisor (R.F. que va de los 54 a los 890 MHz). Si no utilizamos el divisor adecuado se puede dar el caso de que al no abarcar la gama de frecuencias requerida, el divisor atenuará o en el peor de los casos bloqueará, las frecuencias de algunos transpondedores provocando con esto un bajo nivel de señal o la no recepción de los mismos.

Uso incorrecto del divisor. Supongamos que tenemos un divisor que abarca la gama de frecuencias adecuada y queremos conectarlo a dos receptores digitales con el mismo LNB (sencillo). Al realizar lo anterior, se pueden presentar dos casos.

Caso 1:

Existen divisores que independientemente del número de salidas que tengan (dos, cuatro o más), sólo dejan pasar voltaje de un receptor digital (A) a través de una de estas (Power pass) hacia el LNB; por lo que los demás receptores digitales (B,C, y D) conectados a este divisor, únicamente podrán ver canales de transpondedores que estén en la misma polarización que el que este recibiendo el receptor digital (A) conectado a la salida del By pass

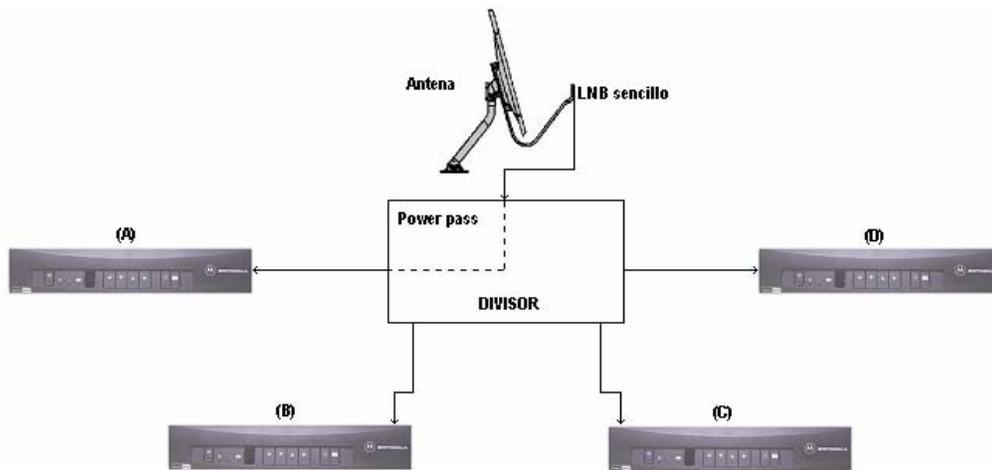


Figura 4.25. Distribución. Divisor con paso de voltaje

Caso 2:

Existe otro tipo de divisores que dejan pasar el voltaje de todas sus salidas al LNB, lo cual causa problemas a los receptores digitales que se encuentran conectados a el, debido a que siempre va a predominar el voltaje mas alto que esté entrando al divisor para polarizar al LNB; es decir, si el divisor tiene dos salidas y hay dos receptores digitales con canales de polarización vertical (13 volts) sintonizados, en el momento en que el receptor digital (A) sintonice un canal con señal de polarización horizontal (18 volts) el LNB polarizará con este voltaje, y por consiguiente el receptor digital (B) perderá la señal vertical y sólo recibirá canales de polarización horizontal.

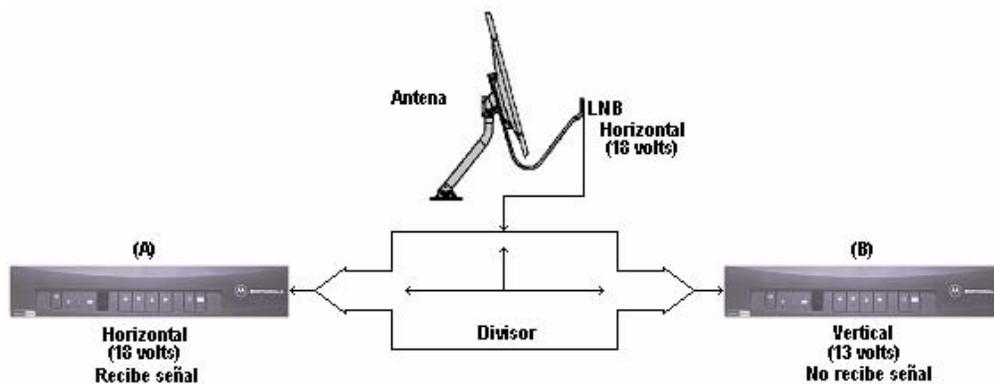


Figura 4.26 Distribución (Divisor con paso de voltaje en todas sus salidas)

Además de los dos casos anteriores entre los problemas que se presentan con el voltaje de polarización cuando se utilizan divisores, debemos considerar lo que se puede presentar con los tonos que generan los receptores digitales. Tomando en cuenta que el receptor digital genera un tono de 22 KHz de onda cuadrada y de 0.6 Vpp de amplitud, el cual envía al LNB para que éste reciba la parte alta de la banda Ku. Cuando varios tonos pasan a través del divisor, éstos se pueden sumar o restar de tal forma que se puede llegar a alterar la frecuencia y/o la amplitud del mismo, como se observa en la siguiente figura, lo cual tiene como consecuencia que el LNB no seleccione la parte de la banda en que debe trabajar.

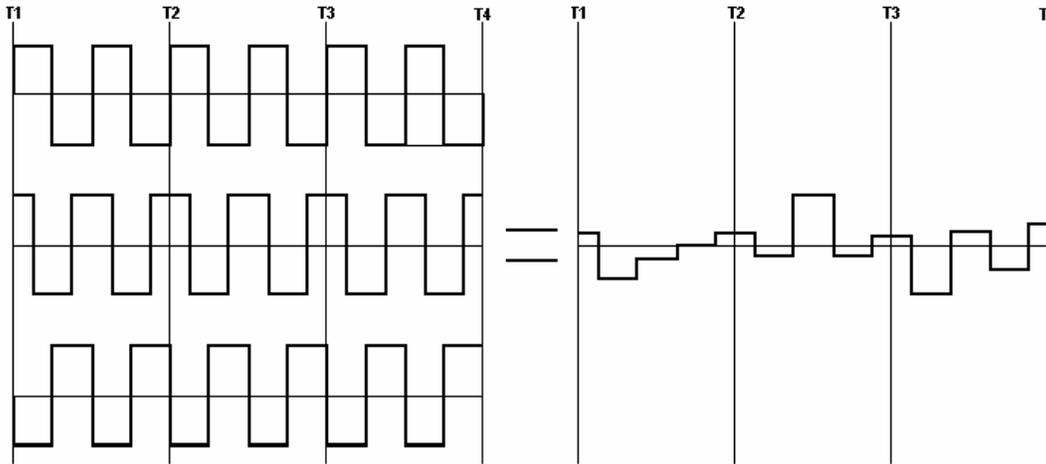


Figura 4.27 Alteración en la etapa de tono

Uso del LNB dual con mas de dos receptores digitales.- Como ya se mencionó anteriormente, el LNB dual ofrece la posibilidad de conectar directamente a éste dos receptores digitales y cada uno recibir la señal independiente, es decir, cada receptor digital puede sintonizar canales verticales u horizontales sin depender uno del otro. Por lo que ahora vamos a analizar como puede ser posible suministrar señales a tres o más receptores digitales con una sola antena y un LNB dual. La figura 4.28. muestra el esquema básico de un sistema de distribución.

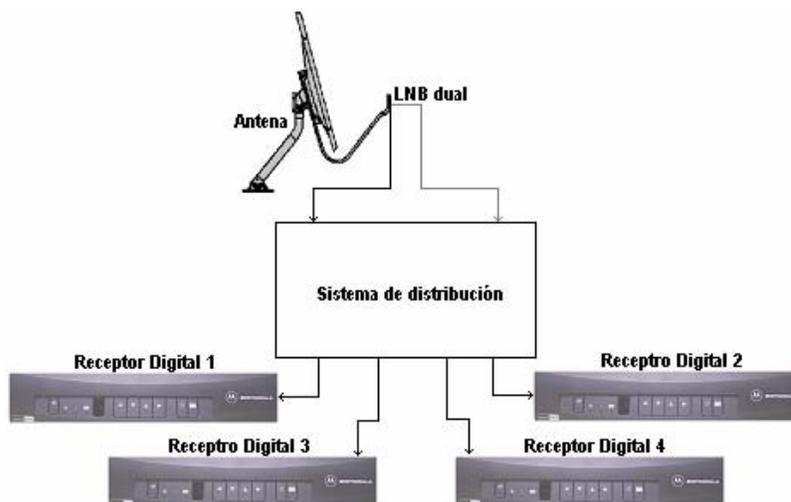


Figura 4.28. Esquema básico de un sistema de distribución

Para suministrar de señal a tres o más Receptores Digitales será necesario insertar entre el LNB dual y los receptores, un sistema de distribución MDU. Este sistema de distribución debe ser capaz de ofrecer a todos y cada uno de los receptores digitales conectados, la posibilidad de recibir independientemente cualquier canal ya sea en polarización horizontal o vertical

4.4. TOPOLOGÍAS

Una topología es la forma en que se encuentren físicamente conectados los componentes de un sistema.

Tipos. Debido a la versatilidad de los componentes que forma un sistema MDU, se pueden crear muchos diseños utilizando diferentes topologías, tales como cascada, estrella o árbol. Cabe mencionar que en algunos diseños es necesario combinar dos topologías y en otros hasta tres.

Tamaños:

Los sistemas MDU se clasifican de acuerdo a su tamaño (número de salidas) en:

1. Sistemas pequeños.- Tienen la característica de alimentar de señal a un máximo de cuatro receptores digitales, permitiéndole a cada uno recibir cualquier canal sin depender de otro.
2. Sistemas medianos.- Alimentan desde cinco hasta 24 receptores digitales, y el diseño de éstos dependerá de las necesidades y características del lugar donde se instalará el mismo.
3. Sistemas grandes. Alimentan 25 receptores o más, estos sistemas son los más complejos ya que conforme aumenta el número de salidas del MDU, aumentan también los componentes del mismo y por consiguiente se debe tener sumo cuidado en los cálculos de las pérdidas para tener niveles de señal adecuados en todas las salidas hacia los receptores digitales.

Cascada. Este tipo de configuración de sistema ofrece la ventaja de poder conectar varios dispositivos en serie; es decir, uno detrás del otro, como lo muestra la figura 4.29.

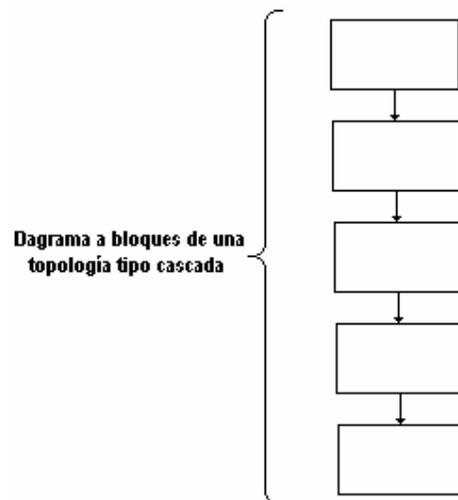


Figura 4.29 Diagrama a bloques de una topología tipo cascada

Aplicación en sistemas MDU.

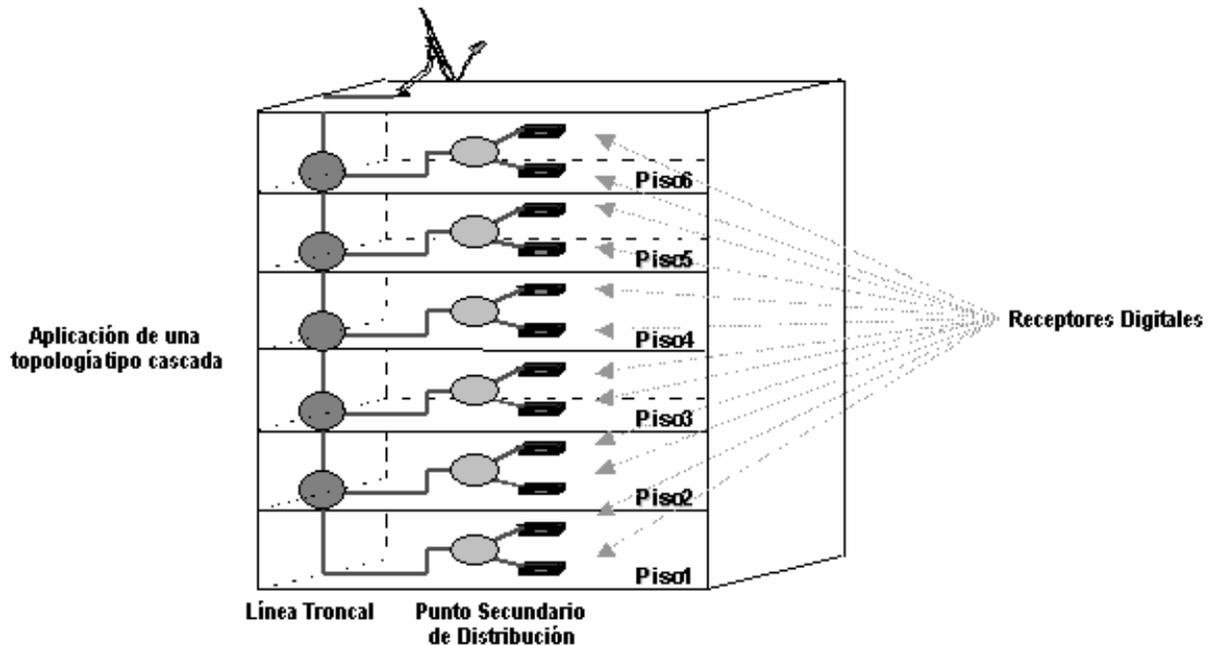


Figura 4.30 Esquema de un sistema de distribución de una topología tipo cascada

Estrella.- En este tipo de configuración se concentran en un mismo punto los elementos que componen la etapa de distribución principal, al mismo tiempo distribuye la información a los diferentes puntos secundarios o terminales partiendo del origen, como lo muestra la figura 4.31.

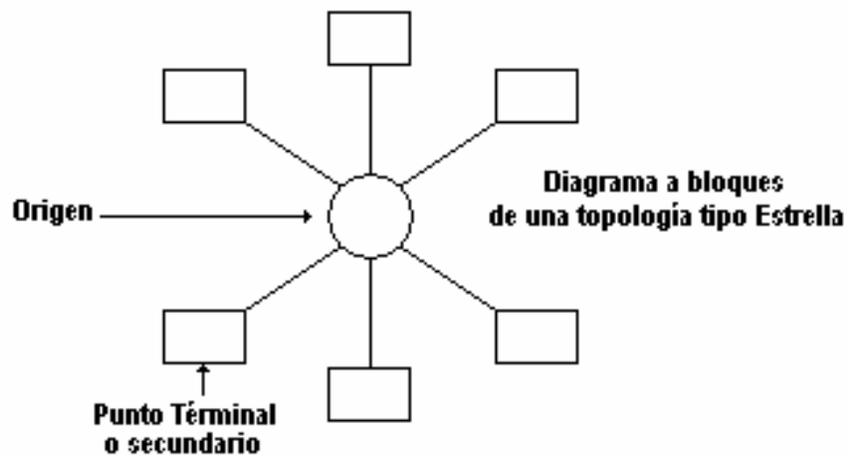


Figura 4.31. Topología tipo estrella

Aplicación para sistemas MDU.

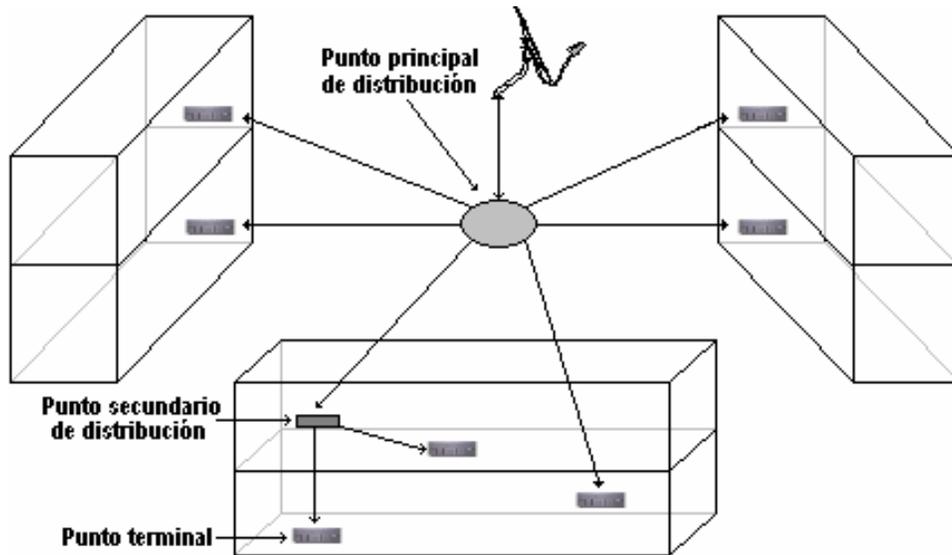


Figura 4.32 Esquema de un sistema de distribución de una topología tipo estrella

Árbol Esta configuración es una de las más completas debido a que es la combinación de las dos anteriores, ya que involucra etapas en donde se puede aplicar la topología en cascada y etapas donde se puede aplicar la topología estrella, como lo muestra la figura 4.33.

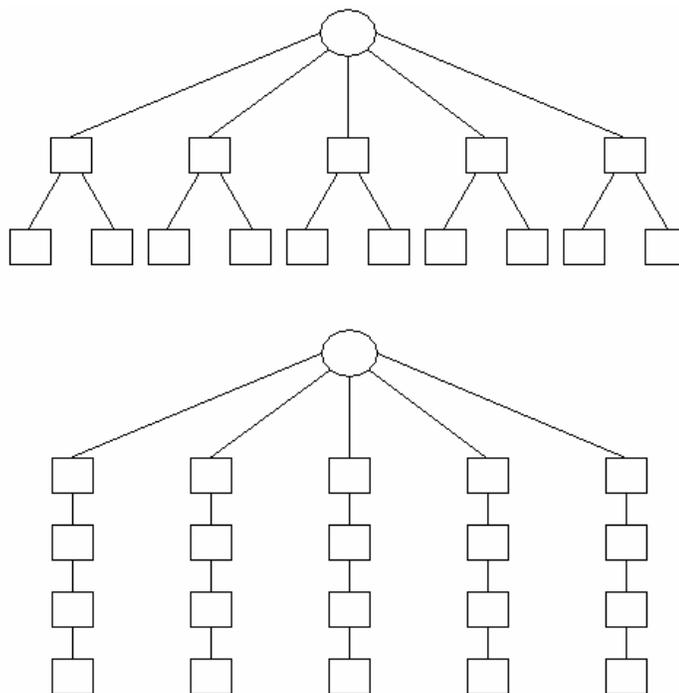


Figura 4.33. Topología tipo árbol

Aplicación de una topología tipo árbol.

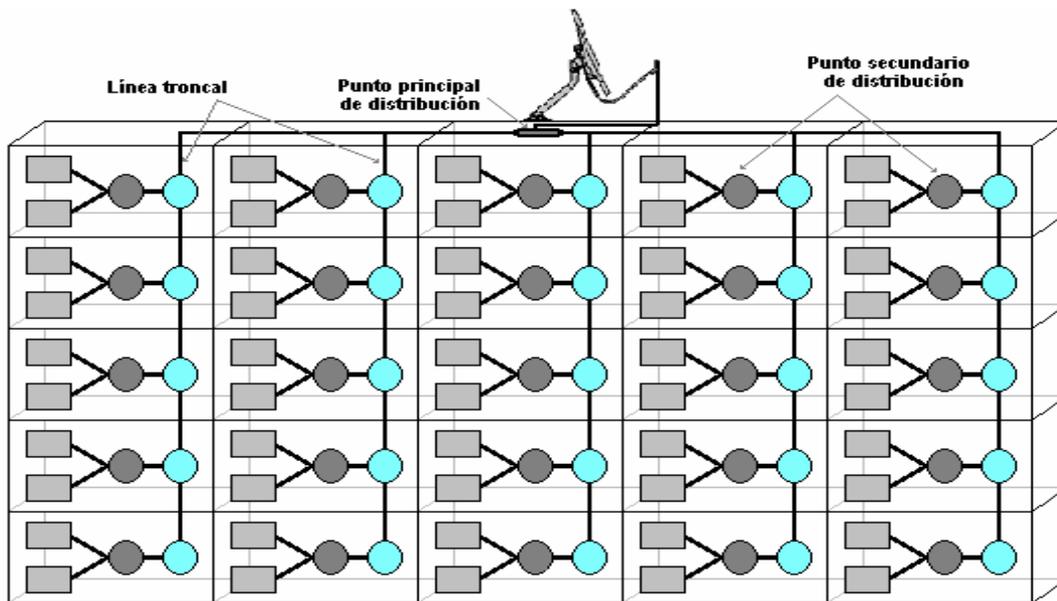


Figura 4.34. Esquema de un sistema de distribución de una topología tipo árbol

4.5. QUÉ ES UN SISTEMA MULTI DWELLING UNIT

Es un sistema de distribución que se encarga de recibir cualquier señal y dividirla a varios puntos de recepción de señales de televisión vía satélite, la conexión es posible mediante un dispositivo llamado multiswitch en el cual se conectan más de dos receptores digitales a una sola antena, procurando que el nivel de señal sea homogéneo en todos los receptores

Todos los sistemas MDU se integran con etapas específicas, las cuales en conjunto hacen posible que todo el sistema opere correctamente en lo que a distribución de señal se refiere. Estas etapas se insertan entre el LNB dual y el receptor digital; como lo muestra la figura 4.35, las más comunes son:

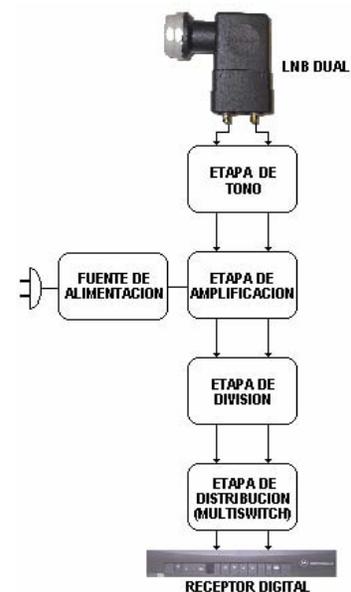


Figura 4.35 Etapas de un sistema MDU.

4.5.1. Etapa de tono

Los dispositivos que conforman esta etapa, figura 4.36, son llamados generadores de tono, los cuales generan una onda cuadrada con una frecuencia de 22 KHz y con una amplitud de 0.6 Vpp, esta señal determina la banda de trabajo.

Debido a que se manejan dos polarizaciones en éste tipo de sistemas, se insertaran 2 generadores de tono uno para cada polarización: horizontal y vertical.

Recordemos que en esta tesis se trabaja con la parte alta de la banda Ku por lo cual se utilizan estos generadores de tono.

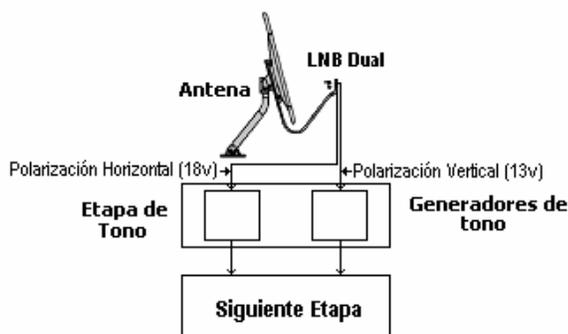


Figura 4.36 Etapa de Tono

4.5.2. Etapa de amplificación

Antes de comenzar a diseñar cualquier sistema MDU es necesario tomar en cuenta ciertos aspectos. Algunos de ellos por ejemplo son: determinar las distancias del cableado, conocer el número de receptores digitales a los cuales se les debe proporcionar la señal. Todo esto con el fin de determinar que tipo de amplificación se tendrá que utilizar.

Amplificación de la línea troncal

Etapa que amplifica o le proporciona ganancia al nivel de señal proveniente de la etapa de tono; esta amplificación se realiza en la troncal o línea principal.

El objetivo de esta etapa es la compensación del nivel de señal debido a la atenuación que se genera en componentes pasivos (equipo y cable) del sistema, procurando en todo momento que los receptores digitales conectados al sistema tengan siempre niveles correctos y homogéneos de señal (rango de operación).

Es en esta etapa donde se le proporciona el voltaje fijo de alimentación al LNB; es decir, se envía un voltaje de 13 V. A una salida (vertical) y uno de 18 V. A la otra (horizontal). Como lo muestra la figura 4.37

Existen componentes amplificadores que deben configurarse para elegir el voltaje que se enviará hacia el LNB. Todos los elementos de esta etapa (amplificadores) necesitan ser alimentados por una

fuente externa de voltaje directo (fuente de alimentación). Es importante señalar que de fallar esta etapa, el resto del sistema también fallará.

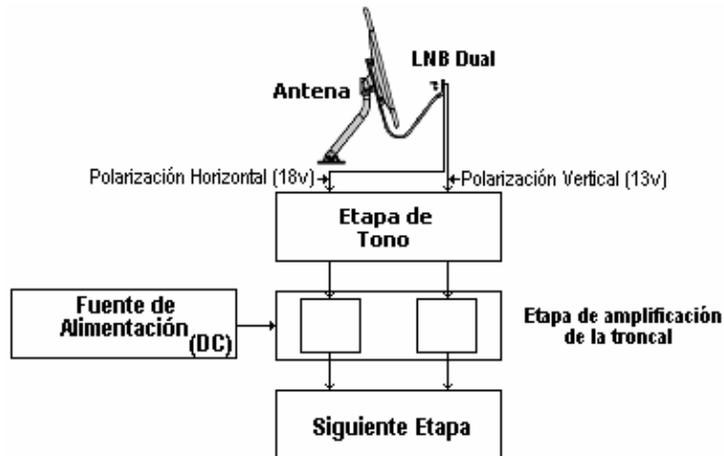


Figura 4.37 Etapa de amplificación

4.5.3. Etapa de división

Esta etapa involucra la instalación de divisores o cualquier otro dispositivo que divida cada una de las polarizaciones; es decir, horizontal y vertical. Casi todos los sistemas MDU que comprenden mas de 12 receptores digitales contienen al menos una de estas etapas.

En los sistemas MDU medianos y grandes se usan este tipo de componentes, debido al numero de equipos que se conectan, como se muestra en la figura 4.38. Los divisores existentes pueden ser activos o pasivos y se encuentran de 2, 4 y 8 salidas. Cualquier divisor utilizado en esta etapa debe manejar, forzosamente, un ancho de banda de 950 – 2150 MHz, (Banda "L").

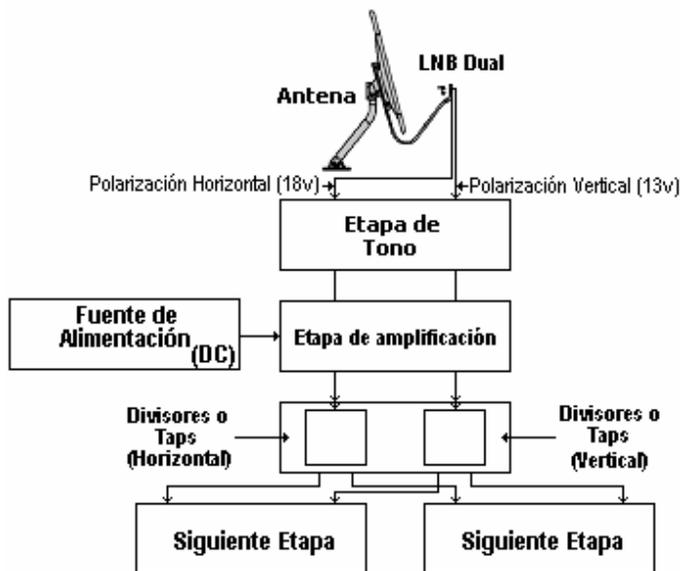


Figura 4.38 Etapa de división

4.5.4. Etapa de distribución

Esta es la última etapa en todo sistema MDU como lo muestra la figura 4.39. Los componentes que la forman se llaman multiswitch y son aquellos a los cuales se conectan los receptores digitales.

El multiswitch hace las funciones de un plato virtual para cada receptor digital que se conecte a éste; es decir, todos los receptores que se conecten a un multiswitch trabajarán como si cada uno de ellos estuviera conectado a una antena y a un LNB de manera independiente. Esto es de gran ayuda cuando se requiere una gran cantidad de receptores digitales en un mismo sitio. De esta manera, podemos alimentar, con una sola antena, a una mayor cantidad de equipos.

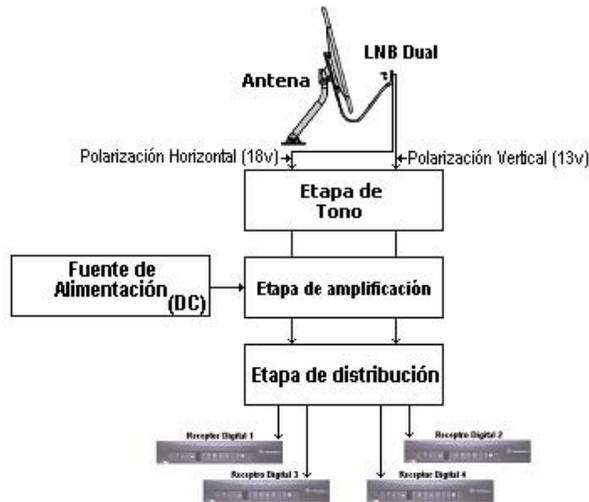


Figura 4.39 Etapa de distribución

En la etapa de distribución (multiswitch) existen varios tipos los cuales son:

- Multiswitch para cascada
- Multiswitch terminal o final de cascada
- Tap multiswitch para cascada
- Tap multiswitch terminal
- Multiswitch diplexor

Estos elementos también varían en el número de salidas con las que cuentan y en donde es conectado el Receptor digital. Los números pueden ser: 1, 2, 4, 8 y hasta 16 salidas.

El equipo para la conexión del multiswitch en cascada, cuenta con dos salidas adicionales en las cuales se pueden seguir conectando otros multiswitch, ya sea para cascada o terminal, llevando hacia el siguiente multiswitch las dos polarizaciones correspondientes, horizontal y vertical.

El multiswitch terminal es aquel componente que se conecta en la parte final de la cascada, dicho equipo ya no cuenta con las salidas de polarización (horizontal y vertical)

En todas las salidas no ocupadas de los multiswitch así como de los divisores, amplificadores y componentes adicionales deberán colocarse terminadores o cargas fantasmas de 75 ohms, con el fin de tener balanceado todo el sistema.

Existen multiswitch que tienen además una entrada para señal VHF/UH. Estos multiswitch pueden combinar ambas señales (satelital y TV abierta) y proporcionarlas en sus salidas a través de un solo cable coaxial.

Es muy importante no colocar en cascada más de tres multiswitch, como se muestra en la figura 4.40 debido a las atenuaciones que se presentan en las derivaciones de las polaridades, por lo que en una cascada de este tipo se colocan dos para cascadas y uno terminal.

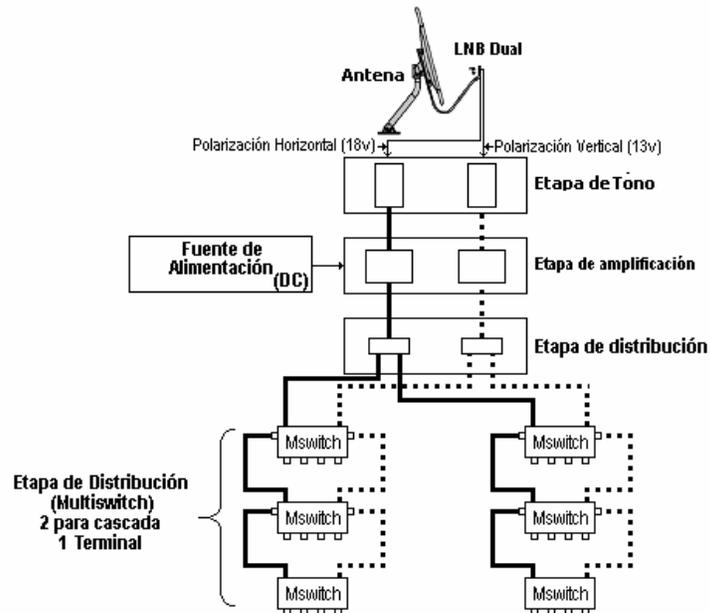


Figura 4.40 Sistema MDU implementando cada una de las etapas

4.5.5. Multiswitch de cuatro salidas

El sistema MDU más sencillo, figura 4.41, se compone de los siguientes elementos:

- 1 LNB dual
- 2 Generadores de tono
- 1 Fuente de alimentación
- 1 Multiswitch de cuatro salidas

Este sistema es útil en casas habitación donde se pretende instalar hasta cuatro receptores digitales.

Es muy importante cuidar el suministro de voltaje para el multiswitch de este sistema ya que dicho equipo envía el voltaje (13V y 18V) a cada salida con el fin de polarizar al LNB.

Existen multiswitch que no cuentan con la entrada de alimentación externa (18V ó 24V) estos equipos presentan falla al utilizarlos en los sistemas MDU básico.

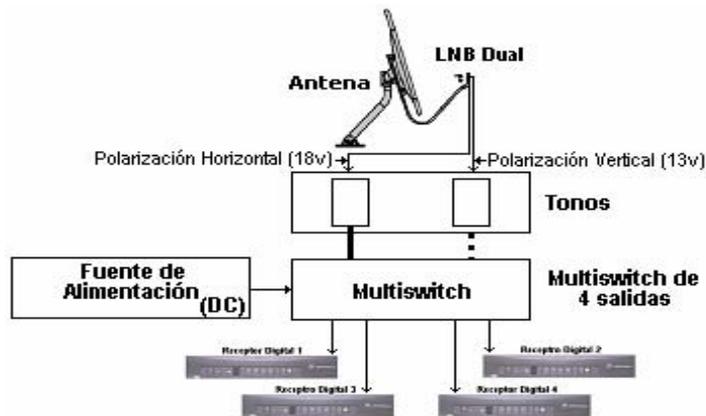


Figura 4.41 Multiswitch de 4 salidas.

El funcionamiento interno de un multiswitch consiste en una serie de relevadores que son accionados automáticamente al seleccionar desde el Receptor digital algún canal que se ubique en una u otra polarización como se muestra en la figura 4.42.

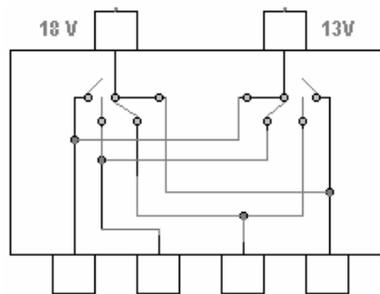


Figura 4.42 Funcionamiento de un multiswitch

4.5.6. Componentes adicionales

Es un componente adicional que nos permite combinar y/o separar dos señales en rangos de frecuencia diferente. Una en el rango de frecuencia VHF/UHF (señal TV abierta); y la otra, en el rango de frecuencia de banda "L" (señal satelital) figura 4.43.

4.5.6.1. Diplexor combinador

Este componente ofrece la facilidad de mezclar las dos señales (TV abierta y satelital) y las envía a través de un solo cable coaxial RG-6.

4.5.6.2. Diplexor separador

Una vez que se tienen ambas señales (TV abierta y Banda "L") en un mismo cable es necesario separarlas, por lo cual se utiliza un dispositivo que hace la operación contraria al combinador, separa ambas señales enviando cada señal por un cable diferente.

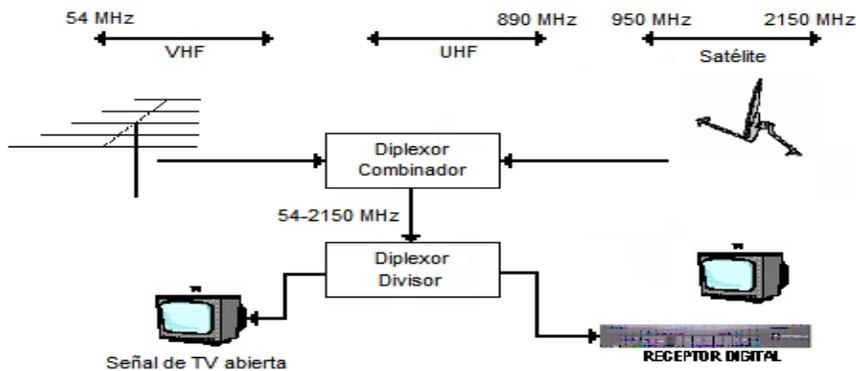


Figura 4.43. Satélite y señal abierta en un solo cable

4.5.6.3. Amplificador de línea

Este tipo de amplificador es utilizado normalmente en sistemas pequeños y se puede insertar entre el LNB y el multiswitch, o entre el multiswitch y el receptor digital. Existen diferentes tipos de amplificadores, estos son:

- Sencillo (línea)
- Ecuilizado
- Dual

Los sencillos son aquellos que se insertan a un solo cable y pueden manejar la polarización horizontal o vertical (una a la vez). Los duales son aquellos que manejan las dos polarizaciones al mismo tiempo por separado en el mismo sistema.

Los amplificadores ecualizados son un caso similar al sencillo, con la diferencia que este elemento tiene una mayor ganancia en las altas frecuencias y compensa las atenuaciones debido al manejo de las mismas.

4.5.6.4. Insertores de voltaje

La única función de este componente es proporcionar un voltaje constante de 13V. a una salida y 18V a la otra salida del LNB dual. Este dispositivo no amplifica ni divide la señal y puede tener atenuación por inserción.

Se utiliza en los casos en los cuales no es necesario dar una ganancia considerable al nivel de señal, por lo que se usa en conjunto no dos amplificadores de línea sencillos o uno dual.

4.5.6.5. Divisor atenuador

Este componente tiene la característica de atenuar o disminuir el nivel de señal que le proporciona cualquier etapa anterior, es decir, cuando detectamos un nivel de señal que sobrepasa el nivel óptimo de funcionamiento del receptor digital, es necesario disminuirlo con el fin de mantener la señal en el rango de operación del equipo. Su función es derivar la señal hacia la parte del sistema donde se necesita la mayor atenuación.

Existen dos tipos de atenuadores: variable y fijos.

- Los variables son aquellos que su atenuación es controlada por un preset y pueden tener de 1 a 4 salidas controladas; también algunos equipos cuentan con una salida no atenuada en el mismo circuito.
- Los fijos son atenuadores que cuentan con dos salidas, una de ellas es un paso directo de señal (sin atenuación), la otra es una salida atenuada con un valor fijo preestablecido y que puede ser de: 12, 16, 18, 20 y 24 dB.

Existen atenuadores lineales o sencillos que cuentan con una entrada y una salida de nivel de atenuación variable o fija.

- Los variables son controlados por un preset y tienen una pérdida de -2 a -20 dB
- Los fijos son los que presentan a su salida un nivel de atenuación estable que van desde -6 , -10 , -20 dB

4.5.6.6. Fuentes de voltaje

Estos dispositivos proporcionan el voltaje externo de alimentación a los siguientes equipos:

- Amplificadores para troncales
- Insertores de voltaje
- Multiswitch

El voltaje que proporcionan las fuentes pueden ser de 18 ó 24 volts (dependiendo la marca) de corriente directa y la corriente mínima requerida para el suministro es de 2^a.

La fuente de alimentación es un dispositivo muy importante dentro de los sistemas MDU, debido a que es el único dispositivo que provee de alimentación a todo el sistema para el correcto funcionamiento del mismo. Si la fuente se daña o no cuenta con línea de alimentación (117 Vac) el sistema MDU no funcionará, debido a que no hay componente que alimente al LNB.

4.5.6.7. Bloqueadores de tono

Dispositivos que su función es la de bloquear el tono proveniente de los Receptores digitales hacia el LNB, con el fin de no causar una alteración de dicho tono al combinarse con otros.

Generalmente se insertan antes de la etapa de división y amplificación; estos dispositivos llevan cierta posición: IN – OUT.

4.6. EN DONDE CONVIENE INSTALAR SISTEMAS MDU

En este punto se mencionan algunos sitios en donde es conveniente la implementación de un sistema MDU ya que en ocasiones no es necesario.

Un sistema MDU puede ser aplicado en:

- Hoteles

- Corporativos
- Edificios Inteligentes
- Edificios Residenciales
- Condominios Horizontales y Verticales
- Centro de convenciones y exposiciones.

Comúnmente este tipo de servicio se ofrece dependiendo de las necesidades y condiciones del cliente, Por ejemplo en un hotel de 20 habitaciones no es común poner 20 antenas, en un Edificio inteligente las restricciones para la colocación de antenas es único, por lo que no se permite poner mas de una antena del mismo sistema, en Corporativos comúnmente se solicita el sistema y poco a poco va creciendo la red conforme a las necesidades del mismo por eso es conveniente este sistema, en Edificios residenciales las políticas de la administración no permite gran numero de antenas, ya que por estética del lugar se debe implementar un sistema que con una sola antena se distribuya la señal a todos los condominios. Esto también aplica para los condominios Horizontales y Verticales.

4.7. ATENUACIÓN Y GANANCIA

Existen atenuaciones y ganancias en todos los sistemas MDU, estas características se presentan en cada uno de los componentes que conforman cada etapa, por lo que es necesario hacer un análisis detallado del sistema completo al momento de realizar los cálculos.

Cada fabricante de equipo MDU debe proporcionar las especificaciones de cada componente, estas pueden ser rango de frecuencias, ganancia, atenuación y su tolerancia.

Para facilitar este análisis clasificaremos en dos grupos al sistema MDU.

Por componente. Todos los componentes provocan atenuación, sin embargo, no todos tienen la función de atenuar; como son:

- Generador de tonos
- Divisor
- Multiswitch
- Cable coaxial
- Conectores

Los dispositivos que se utilizan específicamente para provocar atenuación son los taps y taps multiswitch.

Así también existen componentes que nos proporcionan una ganancia como son:

- Amplificador de la troncal
- Amplificador de línea

En la tabla 4.3. se muestran algunos de los componentes que conforman un sistema MDU. Se muestra si provocan atenuación o ganancia.

Por Etapa. Conociendo el funcionamiento de cada componente sabremos a la etapa que corresponde y si genera una atenuación o una ganancia de bloque respectivo; para darnos una mejor idea usemos la figura 4.44 que muestra las etapas de un MDU, para así asignaren cada una de ellas una función, contando además con la atenuación que nos presenta el cable coaxial.

Para calcular el nivel de señal que le llega al receptor digital debemos conocer el valor de la atenuación o ganancia de cada componente y cada etapa dentro del sistema MDU.

Descripción	Atenuación	Ganancia
Amplificador de Inicio		o
Amplificador de línea ecualizado		o
Amplificador de línea		o
Generador de Tono	o	
Tap variable y fijo	o	
Insertor/bloqueador de voltaje	o	
Divisor de dos salidas pasivo	o	
Divisor de cuatro salidas pasivo	o	
Divisor de ocho salidas	o	
Bloqueador de tono	o	
Multiswitch para cascada	o	
Multiswitch terminal	o	
Tap Multiswitch para cascada	o	
Tap Multiswitch terminal	o	

Tabla 4.3. Resumen de ganancias y atenuaciones por componente

Una vez conocidos los valores se procederá a realizar la suma de cada valor. A continuación se muestra la operación

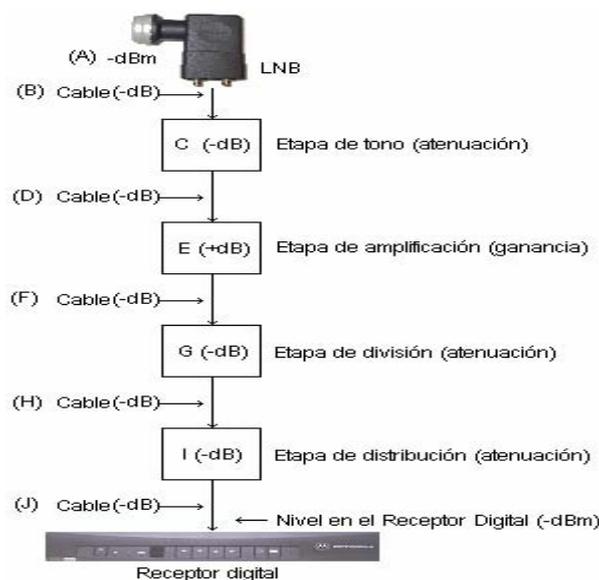


Figura 4.44 Atenuaciones y Ganancias en un sistema MDU

4.7.1. Nivel de señal en el receptor digital

Señal en la salida del LNB	(-A)
Atenuación en el cable coaxial	(-B)
Atenuación en la etapa de tono	(-C)
Atenuación en el cable coaxial	(-D)
Ganancia en la etapa de amplificación	(+E)
Atenuación en el cable coaxial	(-F)
Atenuación en la etapa de división	(-G)
Atenuación en el cable coaxial	(-H)
Atenuación en la etapa de distribución	(-I)
Atenuación en el cable coaxial	(-J)

Nivel de señal en el receptor digital =

$$(-A) + (-B) + (-C) + (E) + (-F) + (-G) + (-H) + (-I) + (-J)$$

4.8. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MDU

Un aspecto fundamental del sistema MDU es la elaboración del diseño para realizar los cálculos que permitirán distribuir la señal correctamente en cada uno de los receptores digitales del sistema.

Para conseguirlo, se recomienda realizar lo siguiente:

- Visitar el inmueble y recabar los siguientes datos: número de pisos, departamentos por piso, altura de cada piso, distancias entre antena y MDU, distancias intermedias y distancia el multiswitch a el posible lugar en donde se situaran los receptores digitales
- Seleccionar el equipo MDU para el diseño: marcas y características.
- Elegir el tamaño de la antena o antenas que se utilizarán así como su ubicación.
- Elegir los materiales para la instalación como son: cable, conectores, taquetes, método de fijación y de etiquetado.
- Elaborar diagrama de distribución de equipo MDU en el inmueble. Considerar cuantos, donde y como se colocarán los componentes, multiswitch, divisores, amplificadores, generadores de tono, fuente de alimentación, etc.
- Elaborar diagrama de conexión de equipos del sistema MDU.
- De acuerdo a los datos anteriores, elaborar un diagrama completo con las longitudes de cable involucradas en el proyecto en el proyecto con el propósito de realizar los cálculos correspondientes
- Debe de tenerse en cuenta, el crecimiento de la red o cambios de posición que pudieran modificar la longitud del cable.

4.8.1. Cálculo de atenuaciones y ganancias

A manera de ejemplo se muestra en el ejercicio para el cálculo de atenuaciones y ganancias

Ejemplo:

Se tiene un edificio de 5 pisos más la planta baja; en cada piso hay cuatro departamentos, de los 24 departamentos 13 solicitan que se les instale un receptor digital, el edificio cuenta con una vertical en la parte central, la altura de cada piso es de 3m, y la distancia promedio desde la vertical a cada departamento es de 15m. El edificio se muestra en la siguiente figura

Diseño:

El primer paso es calcular cuantos multiswitch se utilizarán para alimentar a todos los departamentos, para este diseño utilizaremos multiswitch de cuatro salidas por lo que:

$$\begin{aligned} \text{No. De multiswitch} &= \text{No. De señales/ No. De salidas por multiswitch} \\ &= 13 \text{ señales} / 4 \\ &= 3.25 \\ &= 4 \text{ multiswitch} \end{aligned}$$

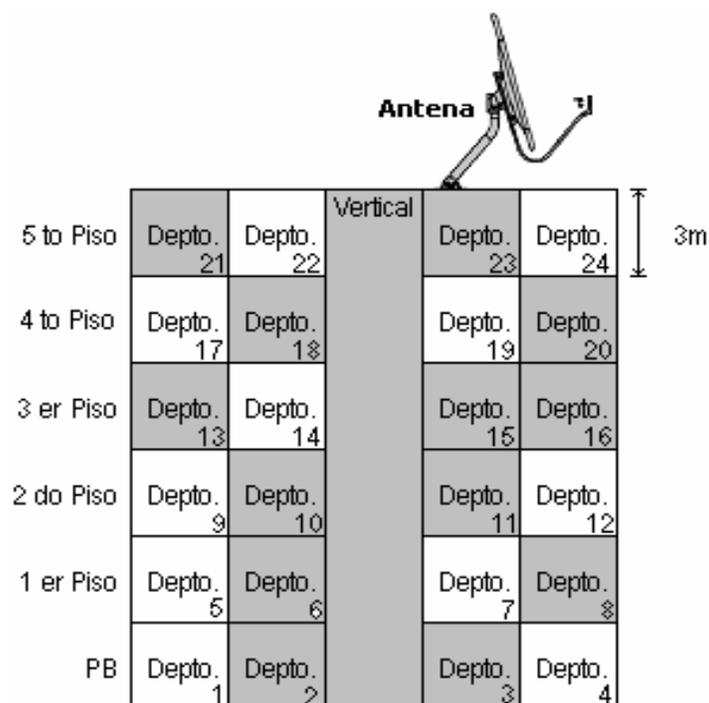


Figura 4.45. Departamentos que requieren señal de televisión satelital

- *Los departamentos sombreados son los que solicitan el servicio, la antena se instalará en la azotea del edificio, la distancia desde la antena a la vertical es de 14m. Con los datos anteriores se debe diseñar un sistema MDU para alimentar a los departamentos involucrados*

Al conocer cuantos multiswitch vamos a utilizar

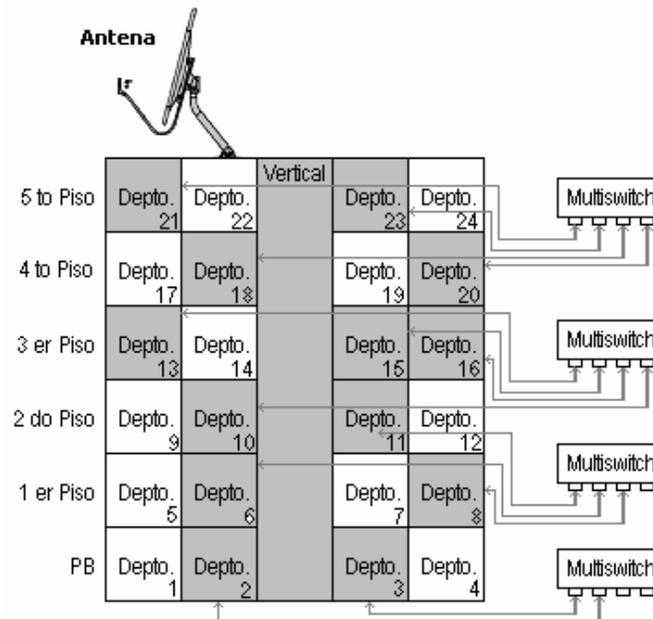


Figura 4.46. Multiswitch requeridos

Como podemos observar de los cuatro multiswitch que se instalarán, quedarán libres tres salidas, las cuales se pueden distribuir de acuerdo a nuestras necesidades.

Supongamos que colocamos los multiswitch de acuerdo al diagrama anterior, por considerarlo conveniente para el edificio, ahora debemos decidir si colocamos una cascada con tres multiswitch (dos en cascada y uno terminal) y otra cascada con un solo multiswitch (en cascada o terminal) o colocamos dos cascadas con dos multiswitch cada una.

A continuación se presentan tres configuraciones, analicemos las opciones que se muestran, debido a que cada una tiene características diferentes

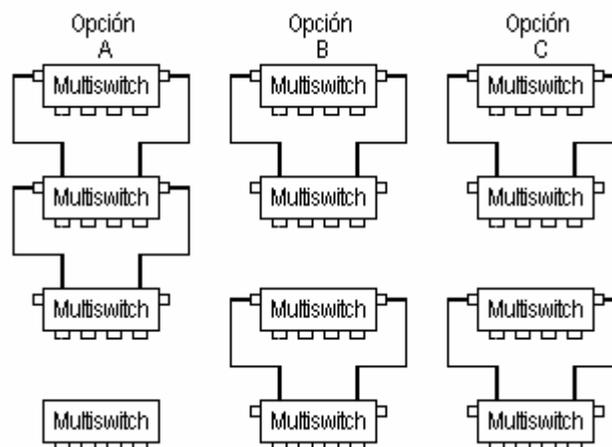


Figura 4.47. Posibles configuraciones de los multiswitch

Opción A.

La opción A cuenta con dos cascadas de multiswitch, una de estas se completó; es decir, de acuerdo al análisis de atenuaciones en los multiswitch sabemos que no se deben colocar más de tres en una misma cascada; y la segunda cascada sólo tiene un multiswitch conectado, por lo que ésta sí puede crecer; sin embargo, este multiswitch se encuentra en la planta baja y si solicitan otro sistema en los pisos superiores se tendría que cablear desde ésta hasta el piso donde fue solicitado el sistema para poder entregar la señal.

Opción B

Esta opción cuenta con dos cascadas de dos multiswitch cada una, como se ve en la figura. En estos multiswitch que vienen colocados en cascada, se puede colocar otro multiswitch con función terminal en cada una de estas, con lo que permitirá aumentar en cualquiera de las dos la cantidad de receptores, debido a que cuenta con un par de salidas útiles para conexiones futuras.

Opción C

La opción C es muy parecida a la opción B; sin embargo, aquí los últimos multiswitch se denominan terminales, por lo que los sistemas no pueden crecer si antes no se realiza el cambio de estos por multiswitch colocados en cascada, lo que implica interrumpir el servicio de los suscriptores que se encuentran conectados a los demás multiswitch terminales.

Como podemos ver existen más opciones que se pueden realizar de acuerdo a las necesidades de los clientes y dependerá de cada instalador la buena planeación del sistema, para poder modificar, aumentar o disminuir el número de salidas, conservando buenos niveles de señal con el menor número de movimientos o interrupciones en el sistema.

Después de evaluar las necesidades del edificio, consideremos que la opción B es la más adecuada, ahora debemos realizar el cálculo de los niveles de señal.

Supongamos que esta instalación se realizará en la Cd. De México, por lo que la antena deberá ser mínimo de 75 cm. Una vez elegida la antena empezarán los cálculos.

Cálculos para los niveles de salida

El cable que se utilizará es RG-6 y tiene una pérdida de 6.5 dB por cada 30 m a una frecuencia de 1000 MHz, por lo que calcularemos la pérdida a 1750 MHz que es la frecuencia máxima que se utiliza en banda "L", lo cual nos da el siguiente resultado:

$$\begin{aligned}\text{Atenuación (1750 MHz)} &= (6.5) \sqrt{\frac{1750}{1000}} \\ &= (6.5) (1.32) \\ &= 8.58 \text{ dB en 30 m}\end{aligned}$$

Ahora propongamos un diseño del sistema MDU, el cual quedaría de la siguiente manera

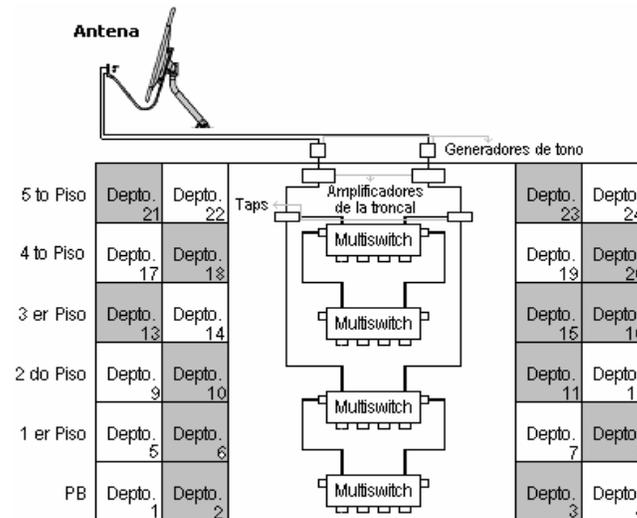
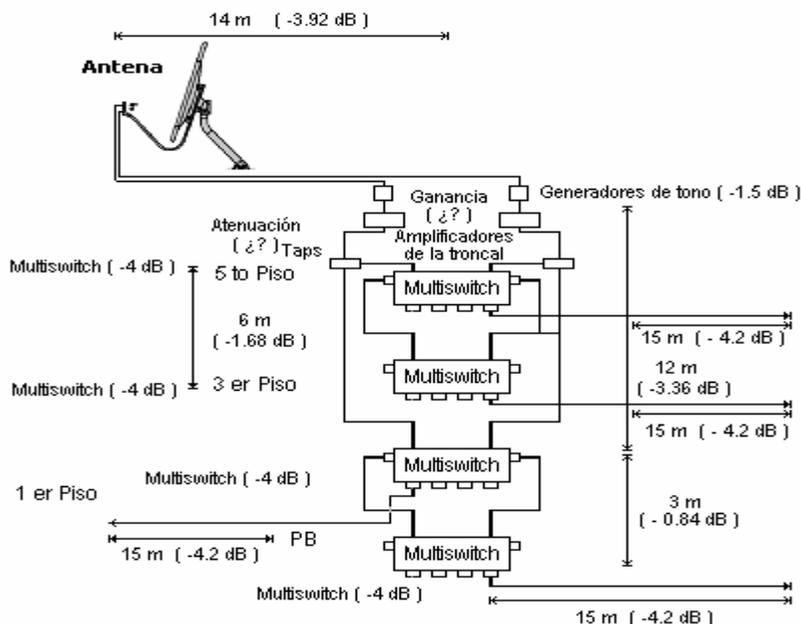


Figura 4.48. Propuesta del diseño para el MDU

En el diagrama observamos que se utilizaron dos generadores de tono, dos amplificadores de la troncal y dos taps. Los amplificadores de la troncal servirán para que la señal llegue con buen nivel a todo el edificio; sin embargo, debido a la proximidad entre éstos y los primeros multiswitch será necesaria la inserción de taps mismos que tienen la función de atenuar la señal en una de sus salidas y dejar pasar por la otra salida sin atenuación; por lo que es necesario realizar los cálculos correspondientes para determinar en que nivel se debe ajustar el amplificador de tronca y de que valor debe ser el tap que se instale.

Procedemos a calcular las atenuaciones del sistema debido a la inserción de componentes y a las trayectorias de cable.



Atenuación de 0.28 dB por metro de cable

Figura 4.49. Diagrama del sistema MDU

Considerando que la sección de amplificación se encuentra en la vertical del quinto piso y no se encuentra conectado, revisaremos con que nivel llega la señal a los departamentos.

Para el multiswitch conectado en el quinto piso se tiene:

Nivel de señal en los departamentos = Nivel de salida del LNB + atenuación en el cable del LNB al generador de tono + atenuación por inserción del generador de tono + atenuación en el multiswitch del quinto piso + atenuación del cable del multiswitch al departamento.

$$\begin{aligned} &= -35 \text{ dBm} + (-3.92 \text{ dB}) + (-1.5 \text{ dB}) + (-4 \text{ dB}) + (-4.2 \text{ dB}) \\ &= -48.62 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Para el multiswitch conectado en el tercer piso se tiene:

Nivel de señal en los departamentos = Nivel de salida del LNB + atenuación en el cable del LNB al generador de tono + atenuación por inserción del generador de tono + atenuación en el multiswitch del quinto piso + atenuación del cable del multiswitch del quinto piso al multiswitch del tercer piso + atenuación del cable del multiswitch del tercer piso al departamento.

$$\begin{aligned} &= -35 \text{ dBm} + (-3.92 \text{ dB}) + (-1.5 \text{ dB}) + (-4 \text{ dB}) + (-1.68 \text{ dB}) + (-4 \text{ dB}) + (-4.2 \text{ dB}) \\ &= -54.36 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Para el multiswitch conectado en el primer piso se tiene:

Nivel de señal en los departamentos = Nivel de salida del LNB + atenuación en el cable del LNB al generador de tono + atenuación por inserción del generador de tono + atenuación en el cable del quinto piso al multiswitch del primer piso + atenuación del multiswitch del primer piso + atenuación del cable del multiswitch del primer piso al departamento.

$$\begin{aligned} &= -35 \text{ dBm} + (-3.92 \text{ dB}) + (-1.5 \text{ dB}) + (-3.36 \text{ dB}) + (-4 \text{ dB}) + (-4.2 \text{ dB}) \\ &= -51.98 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Para el multiswitch conectado en la planta baja se tiene:

Nivel de señal en los departamentos = Nivel de salida del LNB + atenuación en el cable del LNB al generador de tono + atenuación por inserción del generador de tono + atenuación en el cable del quinto piso al multiswitch del primer piso + atenuación del multiswitch del primer piso + atenuación del cable del multiswitch del primer piso al multiswitch e la planta baja + atenuación del cable del multiswitch de la planta baja al departamento.

$$\begin{aligned} &= -35 \text{ dBm} + (-3.92 \text{ dB}) + (-1.5 \text{ dB}) + (-3.36 \text{ dB}) + (-4 \text{ dB}) + (-0.84 \text{ dB}) + (-4 \text{ dB}) + (-4.2 \text{ dB}) \\ &= -56.82 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Recordando que el nivel de señal que espera el receptor digital va de los -30 a los -65 dBm y previniendo atenuaciones por lluvia u otros factores, nivelaremos el amplificador de la troncal a 20 dB de ganancia y para la primera cascada insertaremos un tap de 12 dB de atenuación.

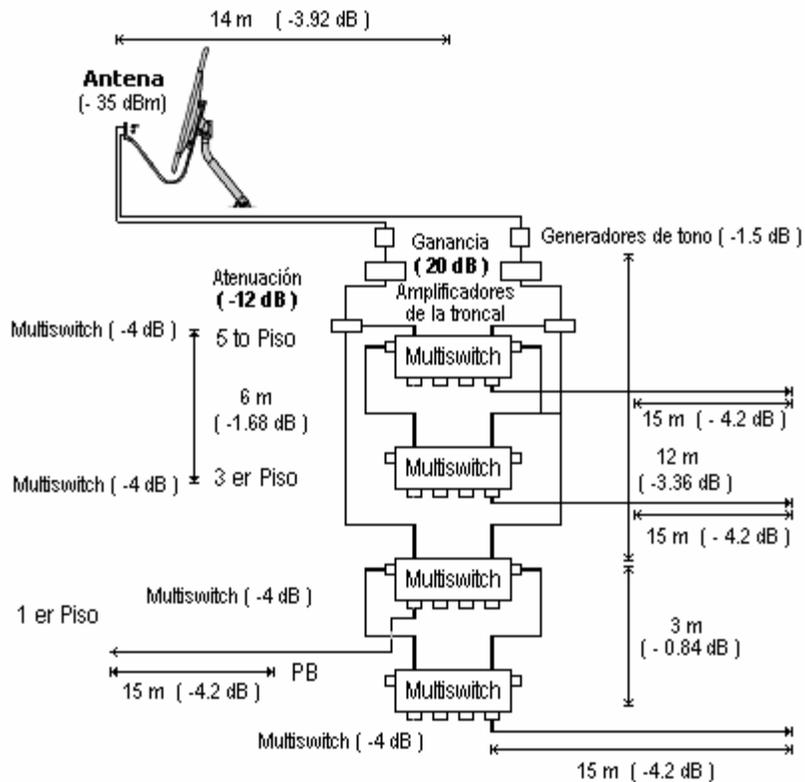


Figura 4.50. Diagrama del sistema MDU mostrando atenuaciones y ganancias

Nivel de señal en los departamentos conectados al multiswitch del quinto piso:

$$= (-48.62 \text{ dBm}) + (20 \text{ dB}) + (-12 \text{ dB}) = -40.62 \text{ dBm}$$

Nivel de señal en los departamentos conectados al multiswitch del tercer piso:

$$= (-54.36 \text{ dBm}) + (20 \text{ dB}) + (-12 \text{ dB}) = -46.36 \text{ dBm}$$

Nivel de señal en los departamentos conectados al multiswitch del primer piso:

$$= (-51.98 \text{ dBm}) + (20 \text{ dB}) = -31.98 \text{ dBm}$$

Nivel de señal en los departamentos conectados al multiswitch de la planta baja:

$$= (-56.8 \text{ dBm}) + (20 \text{ dB}) = -36.82 \text{ dBm}$$

De esta manera podemos hacer que el MDU entregue valores aceptables, y como se puede observar los valores se manejan a nuestra conveniencia, por lo que el diseño propuesto no es el único que funciona para este edificio, como este diseño pueden haber muchos otros que darían buenos resultados siempre y cuando se manejen adecuadamente.

4.8.2. Materiales y herramientas utilizados en la instalación del sistema MDU

Materiales

- Conectores tipo F
- LNB Dual o Quad
- Generador de tono (22 KHz)
- Amplificador inicial
- Divisores
- Cable coaxial RG-6 o RG-11
- Multiswitch para cascada
- Multiwitch terminal
- Taquetes de anclaje de antena
- Fuente de alimentación
- Elementos de sujeción e identificación
- Receptor digital de prueba
- Cinchos
- Registros
- Grapas
- Tortillería
- Rack (opcional)
- Jumpers
- Cargas de 75 Ohms

Herramientas:

- Monitor portátil
- Herramientas en general (taladro, llaves españolas, pinzas, etc)
- Multímetro
- Extensión eléctrica
- Multicontacto

4.9. NORMAS DE INSTALACIÓN DE UN SISTEMA MDU

Normas de seguridad.

Las siguientes normas se deben cumplir en cualquier proyecto en donde se vea involucrado un sistema MDU.

Cable

- El cable utilizado deberá ser RG-6
- En casos necesarios utilizará RG-11
- No dejar forzado ni enredado el cable dentro de los ductos
- No dejar cables sueltos con los extremos sin protección
- No doblar el cable a 90°

- El cable deberá estar siempre etiquetado
- No colocar el cable cerca de líneas de alto voltaje
- No colocar cerca de calentadores o tubos de gas

Sujeción de arneses

La sujeción de cables se realizará en forma de arneses, en caso de que no se cuente con ductos o canaletas verticales. El armado del arnés deberá realizar con cinchos de nylon los cuales se colocaran a una distancia de 40 cm procurando que el cable no cuelgue. Al poner los cinturones deberá cuidar de no maltratar ni deformar el cable. El acomodo dentro de las canaletas deberá dar la apariencia de ser un cable grueso; teniendo la precaución de no cubrir las etiquetas de identificación del cableado. En caso de que no sea posible poner ningún tipo de ducto, se engrapará el cable utilizando el material necesario.

Gabinetes o tableros.

Permitirán resguardar los equipos de un sistema MDU; se recomienda que sean metálicos de un tamaño mayor a los equipos que se instalarán dentro, para que nos permita realizar libremente las conexiones; además deben contar con una chapa de seguridad para evitar que personas ajenas tengan acceso a las conexiones del sistema. Su fijación debe de ser con taquetes y tornillos o pijas en una superficie sólida. Se debe procurar no colocar los gabinetes o registros a la intemperie, con el fin de no provocar un corto circuito en el sistema debido al manejo de voltaje de los equipos.

Normas	Consecuencias
<ul style="list-style-type: none"> • No instale los equipos del sistema en la intemperie 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden sufrir daños por filtraciones de agua ó por altas temperaturas
<ul style="list-style-type: none"> • No instale el cableado junto a las líneas eléctricas o tuberías de gas o de agua caliente 	<ul style="list-style-type: none"> • Inducciones eléctricas o daños al cable
<ul style="list-style-type: none"> • Si la construcción no cuenta con ductos apropiados, fije el cable engrapándolo de la mejor manera 	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede dañar al tener movimiento y hacer fricción con otro objeto. Puede también causar accidentes si alguien se tropieza con él
<ul style="list-style-type: none"> • Proteja el LNB sellándolo con silicón en el contorno de la tapa 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtración interior al LNB causando un daño permanente
<ul style="list-style-type: none"> • Los equipos del sistema deben quedar instalados en lugares o gabinetes con chapa de seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema puede sufrir cambios por personal no autorizado
<ul style="list-style-type: none"> • Utilice el anclaje adecuado para fijar la antena 	<ul style="list-style-type: none"> • Con vientos fuertes la base se puede desprender si no están bien colocados los taquetes
<ul style="list-style-type: none"> • Dejar en cada registro o nivel del edificio o inmueble, un loop de cable (aprox. Un metro) 	<ul style="list-style-type: none"> • Que en posibles inserciones de equipo se tendrá que modificar o cambiar el cableado en algunas zonas
<ul style="list-style-type: none"> • Evitar cortes innecesarios en la trayectoria del cableado 	<ul style="list-style-type: none"> • Las uniones pueden causar atenuaciones considerables en la señal
<ul style="list-style-type: none"> • En la entrada del cable, que va de la antena hacia los ductos, hacer una vuelta de goteo 	<ul style="list-style-type: none"> • Al no contemplarla pueden ocasionarse filtraciones hacia el interior de los ductos causando humedad
<ul style="list-style-type: none"> • Al insertar equipos en la troncal, verificar la continuidad en la polarización 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiando una polarización se pueden perder algunos o todos los canales

Tabla 4.4. Normas y consecuencias de la instalación de sistemas MDU

4.9.1. Identificación del cableado

El objetivo principal de identificar el cableado es localizar fácilmente las puntas de conexión de un cable. Adicionalmente existen otras ventajas tales como:

- Agilizar las operaciones de mantenimiento
- Facilitar la detección de fallas por cambios no registrados de cableado
- Llevar un mejor control en el registro de la memoria técnica

Cuando se tienen muchos cables juntos en una instalación de un sistema MDU es posible generara confusiones entre uno y otro. Para evitar este tipo de situaciones es necesario implementar un sistema de etiquetado.

La función del etiquetado es asignarle una clave especial a cada uno de los cables que se encuentran instalados en el sistema. Esto con el fin de localizar más rápidamente cualquier cable que se necesite.

El etiquetado se debe hacer basado en cierta norma o recomendación, sin dejar ninguna sección del sistema sin identificar (equipo, cable y polarización).

La implementación de esta acción nos ayudará a que nuestro trabajo tenga un terminado más profesional y de mejor calidad.

Otro de los puntos a considerar en el etiquetado es que se puede llevar a cabo el registro en a memoria técnica.

A continuación se presentan algunos tipos de materiales para llevar a cabo el etiquetado en los equipos y cables utilizados en los sistemas MDU.

Materiales recomendados para el proceso de etiquetado en los cables coaxiales del sistema MDU

CABLE EN INTERIORES	CABLE EN EXTERIORES
Termofit	Banderas de Nylon
Etiquetas de papel 3M	Cinchos con etiquetas metálicas
Banderas de Nylon	Etiquetas metálicas
Cinchos con etiquetas metálicas	
Rotuladora de cable	
Pintura de colores	
Etiqueta metálica	
EQUIPO EN INTERIORES	Equipo en Exteriores
Etiquetas de papel	Banderas de Nylon
Banderas de Nylon	Cinchos con etiquetas metálicas
Pintura de colores	
Cinchos con etiquetas metálicas	

Tabla 4.5. Materiales recomendados para etiquetar.

Recomendaciones de etiquetado

Es necesario identificar:

- 1.- El equipo del que sale la señal
- 2.- El tipo de señal que maneja
- 3.- El equipo al que llega la señal

La lista de claves para estos equipos es la siguiente

LNB	LNB
Amplificador de troncal	AT
Generadores de tono	GT
Divisores	DIV
Multiswitch	MSW
Receptor Digital	RD
Insertores de voltaje	IV
Atenuadores	ATE
Dilplexores	DIP
Bloqueador de tono	BT
Amplificador de línea	AL

Tabla 4.6 Claves para etiquetar.

El tipo de señal será la polarización que se maneje o si se trata de una señal de RF y su clave será

Horizontal	H
Vertical	V
Señal de radiofrecuencia	RF

Tabla 4.7. Claves para etiquetar

4.9.2. Recomendación para el cableado

Para la instalación de sistemas MDU es recomendable el uso de ductos para la fijación y protección del cable. Los ductos utilizados comúnmente son canaletas plásticas y metálicas, ducto conduit (tubería para instalación eléctrica) y manguera de PVC, en el caso de ductos ahogados en muros, techos y pisos.

Cada tipo de uso dependerá de de las condiciones del inmueble ya que en ocasiones no es posible instalar ductos y es necesario buscar otra forma de fijación del cableado; esto se complica en las zonas en que el arnés contiene un elevado numero de cables.

Al seleccionar la capacidad de los ductos hay que tomar en cuenta si el sistema puede crecer en un futuro; además de considerar si se instalarán líneas redundantes en esa área. Debido a la cantidad de cables que se manejan en un sistema MDU es necesario etiquetar los extremos de estos de estos con él fin de que sean fácilmente identificables. A continuación se dan algunas recomendaciones para el uso de los materiales que se emplean en el cableado del sistema.

El manejo y uso de los materiales que se emplean en el cableado, tanto en inmuebles que cuentan con tubería como en los que no la hay, la dividimos en ductos, cable, sujeción de arneses, gabinetes o tableros y etiquetado.

4.9.3. Ductos

Los ductos que se pueden utilizar se dividen en canaletas, tubería metálica y tubería de PVC. Para todos es necesario observar las siguientes recomendaciones:

El tamaño de los ductos debe permitir introducir los cables que sean necesarios para instalar el sistema, sin olvidar que debe quedar lugar para introducir cables para futuras instalaciones, tomando en cuenta también las líneas redundantes, si es que son necesarias.

Tubo metálico conduit: es recomendable para instalaciones exteriores en exteriores. Hay que fijarlo con abrazaderas a superficies firmes y dejar registros en lugares en donde posiblemente se pueda instalar a un equipo futuro.

Canaleta: se recomienda instalar solo en interiores, porque puede sufrir filtraciones de agua, al igual que en el tubo metálico se debe calcular la capacidad para que pueda alojar los cables necesarios para la instalación, tomando en cuenta el crecimiento a futuro del sistema y las líneas redundantes. Se debe sujetar con taquetes y tornillos también a lugares firmes.

Tubería de PVC: es recomendable solo cuando va ahogada en concreto y las consideraciones son las mismas que para ductos metálicos.

4.9.4. Recomendaciones generales de instalación

A continuación se listan las recomendaciones generales que se deben llevar a cabo en cualquier instalación de un Sistema MDU

- En caso de que el edificio no cuente con una vertical con puerta de seguridad colocar gabinetes cerrados para mayor protección del equipo.
- Para los componentes activos es necesario que se proporcione un suministro de energía eléctrica para el funcionamiento de los mismos. Este suministro debe contar con una fuente ininterrumpida de voltaje, que además sea regulada y no sea compartida
- Es recomendable aterrizar los equipos para que cualquier sobrecarga sea canalizada a una tierra física
- Es necesario colocar "cargas resistivas" de 75 ohms en las salidas de los equipos (multiswitch, divisores, etc) que no sean ocupadas.
- No fijar antenas encima de cuartos de máquinas, elevadores y/o cisternas
- Fijar equipos para sistema MDU al muro o a los registros es decir, no dejarlos sueltos.
- Colocar, en el caso de hoteles, los receptores digitales en Racks adecuados para evitar sobrecalentamientos, es decir con el espacio suficiente entre equipo y equipo y deberá contarse con aire acondicionado para mantener una temperatura adecuada de los mismos.
- Utilizar herramientas adecuadas para la instalación y mantenimiento del sistema MDU

- No apretar con fuerza excesiva los conectores de los equipo, ya que podría causar daños en la terminal de entrada del equipo o generar falsos contactos.
- Realizar la memoria técnica al final de cada diseño de sistema MDU
- Documentar en la memoria técnica todos los cambios y operaciones que se realicen al sistema

4.10. MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA MDU

4.10.1 Mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento se realiza, cuando una falla en el sistema MDU, el objetivo de este mantenimiento es corregir dicha falla en el momento o posterior a su ocurrencia.

Procedimiento para realizar el mantenimiento correctivo:

1. Visitar el inmueble donde se reportó la falla
2. Verificar cual es la falla
3. Verificar el tipo de falla, puede ser en el Receptor Digital, en el cable, Multiswitch o generadores de tono, amplificador de troncal, divisores u otros componentes del sistema.

Desarrollo del procedimiento

1. La persona responsable de la instalación deberá dirigirse al domicilio del usuario que presenta la falla.
2. Contactar al responsable del inmueble para la autorización de la reparación.
3. Dependiendo de la falla, presentada se analizaran las posibles causas que la provocan; sugiriendose los siguientes pasos:
 - a) Si la falla se presenta en un solo Receptor del sistema, la falla posiblemente se localizará entre el Multiswitch, cable o Receptor Digital.
 - b) Si la falla se presenta en un grupo de los receptores conectados al mismo Multiswitch, el problema se encontrará entre el Multiswitch y una etapa anterior (posiblemente divisores, o en alguna cascada).
 - c) Si la falla es la misma en todo el sistema probablemente el problema se encuentre entre la etapa de división y la antena.
4. De acuerdo a la falla detectada debemos seguir un proceso de reparación que consiste en identificar físicamente el componente que está fallando y una vez detectado se realiza el reemplazo del equipo dañado
5. Verificar el óptimo funcionamiento del sistema.
6. Una vez reestablecido el sistema registre la operación en la memoria técnica; indicando la causa de la falla material o equipo reemplazado y la fecha de realización del servicio.

Nota: El equipo reemplazado deberá ser de la misma marca para evitar alteraciones en los niveles del diseño del sistema

A continuación se describen algunas de las causas que originan las fallas más comunes en un sistema MDU.

- Falta de alimentación en la etapa de amplificación (fuente de alimentación)
- Daño en algún componente de la etapa de amplificación
- Polaridad invertida
- Saturación o atenuación en el nivel de señal del Receptor Digital
- Cables dañados
- Conectores mal armados o ensamblados
- Mal funcionamiento del LNB
- Cálculos erróneos
- Trayectorias muy largas

Materiales y equipo utilizados durante el mantenimiento

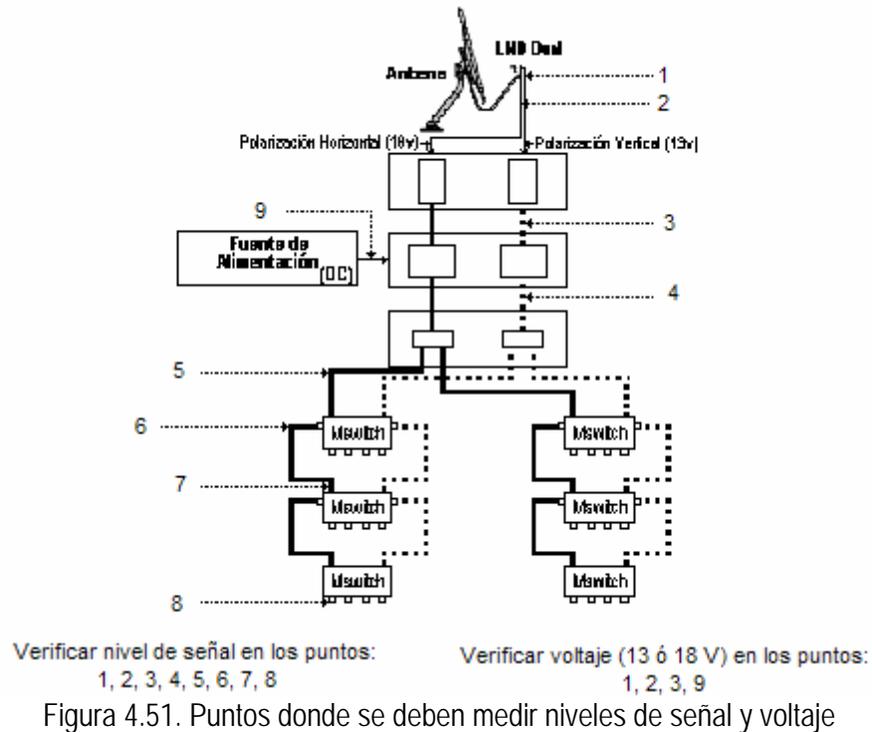
- Conectores tipo F (de compresión)
- Cable coaxial
- Taquetes de anclaje de antena
- Elementos de sujeción e identificación
- Memoria Técnica
- Herramientas básicas de instalación
- Cables de prueba

Equipo

- LNB dual
- Generador de tono (22 KHz)
- Amplificador de la troncal
- Divisores
- Multiswitch para cascada
- Multiswitch terminal
- Fuente de alimentación
- Receptor digital de prueba
- Monitor portátil
- Multímetro
- Extensión eléctrica
- Tap

En la figura 4.51. se muestran los puntos recomendados para la prueba de voltaje y señal.

El fabricante deberá proporcionar las características tales como: frecuencia, distancia, temperatura, etc., con las cuales se realizaron las pruebas correspondientes del cable que presentan. Ej (7 dB/100 ft @ 68 °F a una frecuencia de 1000 MHz).



4.11. PROVEEDORES

Existe gran diversidad en el mercado de dispositivos para implementar sistemas Multi Dwelling Unit, en los cuales se han hecho pruebas y los más destacados por su calidad y alto desempeño son:

- Telesystem
- Global Communications

4.11.1. Telesystem

Fuente de alimentación FA-20

Es un equipo muy versátil para emplearse en sistemas MDU (Multi Dwelling Unit); la Fuente/Amplificador FA-20 es la encargada de proporcionar el voltaje al LNB TWIN, en su polarización horizontal que es de 18Vdc, y en la polarización vertical de 14Vdc para su funcionamiento y polarización, el amplificador se encarga de incrementar la potencia de señales débiles, además en el mismo aparato están integrados los siguientes componentes:



Figura 4.52. Fuente Telesystem FA-20

Control de ganancia: Nos permite ajustar la potencia de la señal tanto en la polarización Horizontal como en la Vertical.

Un Switch Selector de activación de generadores de tonos internos de 22 KHz, los cuales permiten al sistema ubicarse en la banda alta, tanto en la polarización Horizontal como en la Vertical.

Un Switch selector de activación de paso de voltaje hacia la troncal, el cual en instalaciones típicas no es necesario habilitar para tener tensión en la troncal si se emplean los Multiswitch CET-2041 TELE System, sin embargo, en casos excepcionales podrá emplearse para poder distribuir tensión en la troncal.

Fusible de protección, el cual protege al equipo de descargas de corriente eléctrica.

FUENTE / AMPLIFICADOR	FA-20	
Rango de Frecuencia	950 a 2220	MHz
Ganancia	28 ±2	dB
Pérdida por Retorno	10	dB
Aislamiento H/V	50	dB
Impedancia	75	Ohms
Tipo de Conector	"F"	
ALIMENTACIÓN LNB VERTICAL		
Tensión	14 ± 0.5	Volts
ALIMENTACIÓN LNB HORIZONTAL		
Tensión	18 ± 0.5	Volts
GENERADOR DE TONOS		
Frecuencia	22 ± 2	KHz
Voltaje de Alimentación	110 / 220	Vca
Consumo	15	Watts
Dimensiones	157 x 95 x 70	mm
Peso	1100	gr

Tabla 4.8. Especificaciones técnicas

Multiswitch

Los Multiswitches CET-2041 fueron desarrollados para emplearse en el sistema MDU de TELE System, ya que gracias a la gran variedad de atenuaciones nos permite tener un máximo rendimiento en la entrega de señal hacia los decodificadores (IRD'S), ajustándose a las necesidades de cada proyecto de distribución de señal.



Figura 4.53 Multiswitch CET-2041

MULTISWICH	CET-2041	
MÁXIMO NIVEL DE ENTRADA (P/ 1 dB de compresión)		
CET-2041A	<_ -10	dBm
CET-2041B	<_ -4	dBm
CET-2041C	<_ 5	dBm
CET-2041D	<_ 5	dBm
PÉRDIDA POR INSERCIÓN		
Vertical	<_ 0.5	dB
Horizontal	<_ 0.5	dB
ATENUACIONES		
CET-2041 ^a	6 ± 2	dB
CET-2041B	10 ± 2	dB
CET-2041C	20 ± 2	dB
CET-2041D	30 ± 2	dB
ENTRADAS HORIZONTAL / VERTICAL		
Rango de frecuencia	950-2050	MHz
Aislamiento H/V	³ 50	dB
Pérdida por Retorno	³ 15	dB
SALIDAS HORIZONTAL VERTICAL		
Rango de frecuencia	950-2050	MHz
Aislamiento H/V	³ 50	dB
Perdida por retorno	³ 10	dB
SALIDAS RX1, RX2, RX3 y RX4		
Rango de Frecuencia	950-1750	MHz
Aislamiento	³ 30	dB
Pérdida por retorno	³ 10	dB
Voltaje horizontal	15.7 <_ H <_ 24	Volts
Voltaje Vertical	11.5 <_ H <_ 16	Volts
Corriente	70	mA
Dimensiones	100 x 70 x 28	mm
Peso	150	gr
Conector	"F"	

Tabla 4.9. Especificaciones técnicas del Multiswitch CET-2041

Estas son algunas de sus grandes ventajas:

- Sistema Flexible, cualquier Multiswitch puede ser cascadeable o terminal.
- Nuestro producto cuenta con la menor pérdida por inserción de 0.5 dB.
- Otra ventaja es que contamos con variedad en atenuaciones de: 30,20,10 y 06 dB.
- No es necesario aplicar tensión en la troncal.
- Cada Multiswitch cuenta con cuatro salidas hacia los decodificadores.
- Permiten una mejor y más fácil distribución de la señal.

Gracias a la gran variedad de atenuaciones en los Multiswitches TELE System, estos nos permiten una gran flexibilidad y así garantizar el buen funcionamiento y equilibrio en la señal de salida hacia los decodificadores (IRD) en el MDU.

CET – 2041 D – Atenuación – 30 dB
CET – 2041 C – Atenuación – 20 dB
CET – 2041 B – Atenuación – 10 dB
CET – 2041 A – Atenuación – 06 dB

Splitters

Los splitter´s o divisores de señal TELE System son utilizados en sistemas MDU y sistemas de distribución de señal, esto gracias a que su banda de frecuencia es de 5-2300MHz, lo que permite una gran variedad de aplicaciones en sistemas de distribución.



Figura 4.54 Splitter Telesystem

Algunas de sus características son las siguientes:

- Conectores externos en metal niquelado.
- Alta eficiencia de protección de RF.
- Salidas para conectores tipo "F".
- Alimentación de troncal máxima de 30 V a 1Amp.
- Baja pérdida por inserción.
- Alto aislamiento útil para sistemas CATV , SAT e MMDS.

La variedad de splitter´s TELE System son los siguientes:

- Splitter de 2 salidas con conectores horizontales.
- Splitter de 4 salidas con conectores horizontales.

SPLITTER	PÉRDIDA POR INSERCIÓN				AISLAMIENTO				PÉRDIDA POR RETORNO				
	5	40	1000	2050	5	40	1000	2050	5	40	1000	2050	
FRECUENCIA	40	1000	2050	2400	40	1000	2050	2400	40	1000	2050	2400	MHz
2 SALIDAS	4	4.5	5.8	6.5	14	22	22	22	12	15	14	12	dB
4 SALIDAS	8	8.5	11	11.8	23	22	22	22	10	12	12	12	dB

Tabla 4.10 Especificaciones técnicas del splitter

Amplificador de línea

AMPLIFICADOR DE LÍNEA	22515051	22515052	
Frecuencia de trabajo	950-2250	47-2300	MHz
Ganancia	12 - 20	16 - 20	dB
Figura de Ruido	5	5	dB
Pérdida por retorno	6	6	dB
Máximo nivel de señal	110 dBmV	110sat 105 TV	dB
Alimentación	12-18	11-20	Vcc

Tabla 4.11. Especificaciones técnicas del amplificador de línea



Figura 4.55. Amplificador de línea

4.11.2. Global Communications

Dispositivos que ofrece para la implementación de este tipo de sistemas

Amplificador de lanzamiento

El amplificador de lanzamiento HPLAN/28 es usado para incrementar las señales de satélite en un sistema de distribución pasivo. El amplificador tiene un punto muy alto opera impedir la intermodulación entre los canales. La ganancia se ajusta fácilmente entre los 18 y 28 dB por medio de un atenuador electrónico.



Figura 4.56 Amplificador de lanzamiento

Las señales terrestres pueden ser añadidas de forma segura gracias a la alta calidad del diplexor con el cual cuenta este dispositivo.

	HIS-D	HIS-DC	HIS-D-WB
Rango de Frecuencia	700-2300 MHz	950-2000 MHz	47-2300 MHz
Isolación	40 dB	40 dB	40 dB
Pérdida	2 dB Max	2 dB Max	2 dB
Control	DiSEqC	0/12v	DiSEqC

Tabla 4.12 Especificaciones Técnicas

Generador de tono

Proveen de un tono de 22 KHz, el cual es controlado automáticamente por el receptor, o manualmente con el interruptor, un led iluminado indica que el generador de tono a sido activado.



Figura 4.57. Generador de Tono

	Gen-22
Rango de frecuencia	700-2300 MHz
Pérdida por inserción	1.5 dB
Amplitud del tono	.6vpp
Consumo de corriente	15mA
Método de Control	Manual
Led	Si

Tabla 4.13. Especificaciones técnicas

Amplificadores de línea

Los amplificadores de línea aumentan la potencia de las señales de VHF/UHF, así como las señales de satélite en trayectorias de cable por arriba de los 30 metros, la ganancia que ofrecen va desde los 16 dB hasta los 20 dB.



Figura 4.58. Amplificador de línea

	TVROWB1F	TVRO16F/N	TVRO20F/N
Ganancia 47 MHz	8 dB		
950 MHz	14 dB	11 dB	22 dB
2150 MHz	18 dB	16 dB	19 dB
Variación	+/- 1	+/- 1	+/- 1
Máxima distorsión			
Salida Libre	-10 dB	-15 dB	-15 dB
(-35 dB C/1) 2 tonos	98 dB μ V	93 dB μ V	93 dB μ V
Corriente de paso	500mA	500mA	500mA
Consumo de corriente	55mA	<50mA	<50mA

Tabla 4.14. Especificaciones técnicas

Dc block dual

El dual DC Block es usado en sistemas de distribución, que permite separa dos señales provenientes del LNB o una salida doble de LNB que divide la señal horizontal y vertical, 18v o 13 v respectivamente para el desarrollo de sistemas MDU.



Figura 4.59. Dc block

	DDCBF	DCBF
Rango de Frecuencia	950-2150 MHz	950-2150 MHz
Pérdida	1 Db Max	1 Db Max
Capacidad de corriente	800mA al LNB	800mA
Consumo de corriente	5mA + corriente del LNB	
Isolación	33 dB entre las dos salidas del LNB	

Tabla 4.15. Especificaciones técnicas

Splitters

El rango global de los splitters permite que una polarización o señal de frecuencia intermedia sea dividida a un número de receptores.



Figura 4.60. Splitters

El Split4AF y el Split8AF tienen integrado un amplificador el cual asegura que en cada una de sus salidas tenga el mismo nivel de señal.

	Split2F	Split4AF	Split4PF	Split8AF	Split8PF
Rango de frecuencia MHz	700-2150	700-2150	700-2150	700-2150	700-2150
Perdida de Regreso	10 dB				
Pérdida	5dB	0dB	8 dB	0 dB	11dB
Amplificación	NO	SI	NO	SI	NO

Tabla 4.16. Especificaciones técnicas

Multiswitch

2 vías

Son usados para distribuir 2 polarizaciones de satélite o 2 satélites diferentes para alimentar a mas de 4 receptores. El control es por los 13/17v de voltaje del LNB. Son fácil de instalar e impermeables al agua. Alta isolación en las señales horizontal y vertical, con esto asegura no presentar algún cuadro de degradación.

	DiSEqC 4X1	DiSEqC 4X1 WB
Rango de frecuencia señal satelital MHz	920-2050 MHz	920-2050 MHz
Perdida por inserción	2dB	2dB
Isolación	24dB	24dB
corriente con	40dB	40dB

Tabla 4.17 Especificaciones técnicas



Figura 4.61. Multiswitch 2 vías

3 x 4 vías

Realizan la misma función de los anteriores solo que estos además de distribuir la señal proveniente del satélite, pueden distribuir las señales terrestres.



Figura 4.62 Multiswitch 3 x 4 vías

	3X4 D	3X4H	3X4DC	3X4HL
Rango de frecuencia señal satelital MHz	920-2150	920-2150	920-2150	920-2150
Rango de frecuencia señal terrestre MHz	47-862	47-862	47-862	47-862
Perdida por inserción de señal de satélite	0 dB	0 dB	4 dB	4 dB
Perdida por inserción de señal terrestre	<11 dB	0 dB	4 dB	4 dB
Isolación	24 dB	24 dB	24 dB	24 dB
Filtro de Isolación señal satelital	45 dB	45 dB	45 dB	45 dB
Filtro de Isolación señal terrestre	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB
Consumo de corriente	84 mA	85 mA	85 mA	85 mA
Entrada de alimentación de CD	NO	NO	SI	NO

Tabla 4.18. Especificaciones técnicas

4.12. VENTAJAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Un sistema de distribución tiene la gran ventaja de que con una sola antena y un LNB Dual se puede distribuir hasta n cantidad de señales de televisión.

En una instalación ordinaria, se necesita: una antena, taquetes para la fijación de esta, LNB sencillo Dual o Quad según sea la necesidad del cliente, Cable coaxial que dependen del numero de Receptores Digitales a instalar, Conectores tipo F para cable coaxial y Grapas para la fijación del cable.

Las siguientes imágenes muestran la desventaja de realizar instalaciones convencionales en donde se requieren mas de 4 decodificadores de señal.



Figura 4.63 Vista de la azotea de un edificio en donde hay gran demanda de señales de televisión satelital



Figura 4.64. Trayectorias de cable

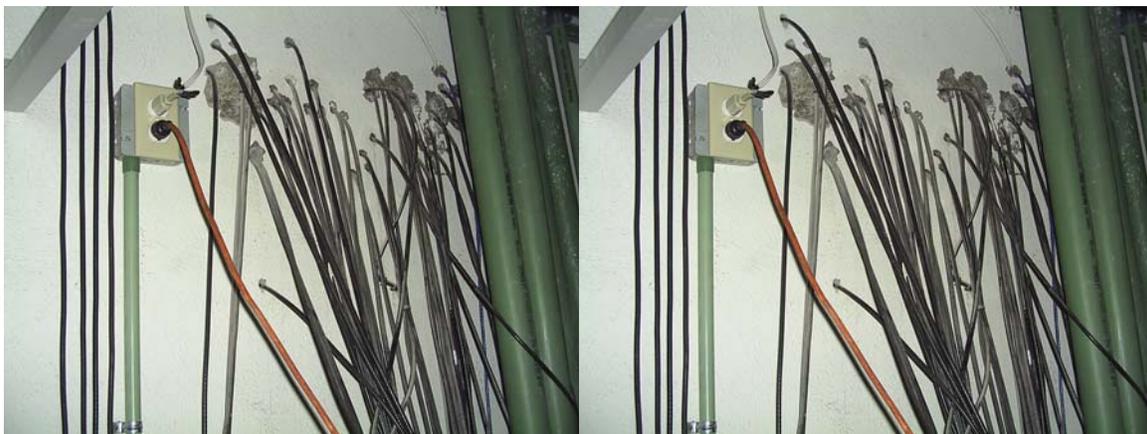


Figura 4.65. Trayectoria de cable deteriorando la estructura de la vertical edificio

Imaginemos que en un edificio de 30 pisos donde hay 60 departamentos y cada uno de ellos requiere mínimo de dos receptores digitales. Si fuera una instalación ordinaria se necesitarían, 60 antenas, 240 taquetes, 60 LNB Dual, 120 trayectorias de cable, 240 conectores, infinidad de grapas para fijar el cable, además de que la vertical del edificio (cubo que hueco que sirve para las rutas de cableados, de todo tipo que conectan a los departamentos) se saturaría, y en caso de reparación sería muy difícil la identificación de la ruta de cable. Además de la estética del edificio. Como lo muestran las imágenes anteriores.

En cambio con un sistema MDU, solo se necesita, Una antena, 4 taquetes, LNB Dual, Unidad Básica (Fuente de alimentación, generadores de tonos, etapa de amplificación), 15 Multiswitch, divisores de señal la cantidad de estos depende de la topología que se implemente..

Del diseño empleado en esta tesis se muestra la siguiente tabla en donde se compara el costo que tiene el sistema MDU empleado (Global communications) y el costo que hubiera tenido si no se aplica este sistema en los mismos 13 departamentos, así también se evalúa el costo que se hubiera tenido con otro proveedor, en este caso Telesystem.

TABLA COMPARATIVA ENTRE UN SISTEMA MDU Y LAS INSTALACIONES CONVENCIONALES.						
Para el ejemplo mostrado en la presente tesis, se diseñó un sistema MDU para un edificio de 24 departamentos de los cuales se tenía habilitar señal en 13 de ellos.						
Material y equipo MDU	Global Communications	Telesystem	Instalación Convencional	Costo Global Communications	Costo Telesystem	Instalación Convencional
Antena	1	1	1	450	450	5850
LNB Dual	1	1	0	697	697	
LNB Sencillo	0	0	13			4485
Cable coaxial	273	273	512	1960	1960	3584
Taquetes	4	4	52	9,2	9,2	119,6
Conectores			26	248,4	230	119,6
Cinturones				2,6	2,6	33,8
Grapas	14	14	182	2,1	2,1	27,3
Protectores de humedad	2	2	13	2,1	2,1	13,65
Fuente de alimentación	1	1	0	500	1088	
Generadores de Tono	2	0	0	260		
Amplificadores de Lanzamiento	2	0	0	880		
Divisores de señal	2	2	0	240	200	
Multiswitch	4	4	0	2000	3120	
Costo total de instalación				7251,4	7761	14232,95

Tabla 4.19. Tabla comparativa de costos de un sistema MDU y una instalación convencional

°Nota. Las cifra arrojadadas en los costos son Pesos Mexicanos

Con la tabla anterior podemos observar que nuestra mejor opción es el proveedor Global Communications.

CONCLUSIÓN

A lo largo de estos 4 capítulos pudimos comprender como fueron cambiando las comunicaciones electrónicas, a medida de que pasa el tiempo se han desarrollado investigaciones y experimentos que dan el inicio y necesidad de crecer día con día en el ámbito de las comunicaciones.

La comunicación por satélite, entre otras, es de las más importantes en la actualidad, de aquí el interés por la presente tesis. Nos enfocamos a la señal de televisión recibida del satélite para poder distribuirla en un punto determinado mediante un sistema MDU.

Se apreció en la tabla 4.19, que realmente es mas económico este sistema en comparación con una instalación convencional.

La calidad no se pierde ya que con este sistema se puede regular y aumentar la ganancia o disminuirla, esto depende del diseño y de las necesidades del usuario.

La estética del lugar es notoria ya que se aprovecha los espacios en la zona de antenas, no hay infinidad de cables ya que para el sistema de distribución solo se necesitan 2 trayectorias de cables hasta la unidad básica.

Este tipo de sistemas es conveniente emplearlo, en edificios inteligentes, condominios residenciales (ya sean horizontales o verticales), corporativos, hoteles, comunidades rurales en donde no se capte señal alguna de televisión.

En la actualidad existe la necesidad en una comunicación donde todo sea más práctico, funcional, bajo costo y ante todo calidad.

Existen otros dispositivos o proveedores de sistemas MDU, los cuales tienen el mismo funcionamiento, la elección depende de las necesidades del cliente y del presupuesto asignado.

BIBLIOGRAFÍA

Wayne Tomasi
Sistemas de comunicaciones electrónicas
Prentice hall
2ª Edición

Louis E. Frenzel
Sistemas electrónicos de comunicaciones
Alfaomega

Cannon
El mundo de las comunicaciones
Ediciones Anaya

Dennis Roddy
Electronic communication
Reston publishing company
Third edition

Manual MDU
Capacitación SKY

Manual de Instalaciones
Capacitación SKY

Guía de compras
Departamento de compras SKY

Apuntes de la materia Radio, Microondas y Satelites

MESOGRAFÍA

www.plantaterrena.tv/antenas

www.bibliodgsca.unam.mx/tesis/tes11johc/toc.htm

www.telesystem.com

www.globalcom.co.uk