

109
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CAMPUS
A R A G Ó N

**" ASPECTOS GENERALES DE LAS
TECNICAS DE ACCESO EN LOS
ENLACES VIA SATELITE "**

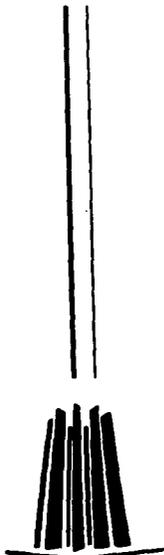
TESIS

PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

JOSE LUIS ZUÑIGA DURAN



ENEP ARAGON

MEXICO, D.F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1997



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.

ASPECTOS GENERALES DE LAS TECNICAS DE ACCESO EN LOS ENLACES VIA SATELITE

CAPITULO I

Conceptos Generales

1.1	Introducción	1
1.2	Canal de Comunicación	2
1.3	Bandas de Frecuencia	2
1.4	Polarización	4
1.5	Antenas	5
1.5.1	Reflector de Foco Primario	8
1.5.2	Reflector con Alimentador de Offset	9
1.5.3	Antena Cassegrain	11
1.6	El Transmisor	12
1.6.1	El TWT	13
1.6.2	El Klystron	14
1.7	El Receptor	15

CAPITULO II

Técnicas de Modulación en Sistemas Satelitales

2.1 Modulación Analógica	18
2.1.1 Modulación en Frecuencia	18
2.1.1.1 Ancho de Banda Requerido Para Señales Moduladas en Frecuencia	20
2.2 Modulación Digital	21
2.2.1 Modulación por Corrimiento de Amplitud (ASK)	23
2.2.2 Modulación por Corrimiento de Frecuencia (FSK)	24
2.2.2.1 Recepción de FSK	27
2.2.3 Modulación por Corrimiento de Fase (PSK)	28
2.2.3.1 Modulación BPSK	29
2.2.3.1.1 Detección de Señales BPSK	31
2.2.3.2 Modulación QPSK	33
2.3 PCM	37
2.3.1 Muestreo y Retención	37
2.3.2 Cuantificación	39
2.3.3 Codificación	41
2.4 Multicanalización	43
2.4.1 Multicanalización por División de Frecuencia (FDM)	43
2.4.2 Multicanalización por División de Tiempo (TDM)	45

CAPITULO III

Segmento Terrestre y Espacial

3.1 Estación Terrena	50
3.1.1 Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE)	50
3.1.2 Conversores de Frecuencia	51
3.1.3 Amplificador de Potencia (HPA)	52
3.1.4 Enlace Ascendente	53
3.1.4.1 Ecuación de Enlace Ascendente	53
3.1.4.1.1 Figura de Mérito	53
3.1.4.1.2 Ganancia de Antena	54
3.1.4.1.3 Relación de Portadora a Densidad de ruido	55
3.1.4.1.4 Otras Pérdidas Empleadas en el Enlace Vía Satélite	56
3.2 El Satélite de Comunicación	56
3.2.1 Ganancia y Potencia del Satélite	57
3.2.2 Ecuación de Enlace Descendente	58
3.2.2.1 Relación Portadora a Ruido Descendente	58
3.3 Análisis de Pérdidas en el Enlace	59
3.3.1 Atenuación por Absorción	59
3.3.2 Atenuación por Lluvia y Gases Atmosféricos	59
3.4 Interferencia en Enlaces de Comunicación Vía Satélite	60
3.4.1 Interferencia entre Satélites Adyacentes	61
3.4.2 Interferencia entre los Canales de Radiofrecuencia Adyacentes	62

CAPITULO IV

Técnicas de Acceso

4.1 FDMA	63
4.1.1 SSB-FDM-FM-FDMA	65
4.1.2 PCM-TDM-PSK-FDMA	69
4.1.3 SCPC	70
4.2 TDMA	73
4.2.1 Arquitectura Básica del TDMA	73
4.2.2 Sincronización	80
4.2.3 Burst de referencia	81
4.2.4 Tiempo de Guarda	82
4.2.5 Señalización	83
4.3 CDMA	85
4.3.1 CDMA-DS	86
4.3.2 CDMA-FH	89

CAPITULO V

Ruido en Sistemas Satelitales

5.1 Ruido de Intermodulación	92
5.2 Ruido en Modulación Digital	92
5.2.1 Ruido en Sistemas PSK	94

CAPITULO VI

Aplicaciones

6.1 Transmisión de Voz y Datos	97
6.2 Transmisión de TV	103
6.2.1 Radiodifusión de Video Digital	107

Conclusiones

Bibliografía

CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION

En los sistemas de comunicación via satélite y considerando la importancia que tienen en los últimos años, en estos sistemas de enlace se hace necesario tener una serie de referencias para el conocimiento de los métodos de acceso y además porque constituyen una de las bases principales de las redes de comunicación a larga distancia .

El servicio de telecomunicaciones via satélite opera mediante una de las tres formas siguientes:

El sistema INTELSAT , el cual realiza la comunicación entre naciones y entre continentes , Los sistemas Domésticos los cuales realizan dicha comunicación entre estados de una nación , este tipo de sistemas satelitales es conocido también como sistemas de comunicación via satélite local; El caso de los sistemas móviles de los cuales puede entenderse los barcos (INMARSAT), aviones etc.

Dentro de los aspectos generales de las técnicas de acceso FDMA, TDMA, CDMA se consideran desde los tipos de modulación hasta las características de ruido en estos métodos de acceso.

1.2 CANAL DE COMUNICACIÓN

El canal de comunicación esta constituido básicamente por el espacio o el medio ambiente, así como las fluctuaciones que existán en el afectaran directamente a nuestra señal transmitida por cualesquiera de los tres métodos de acceso.

Como es bien sabido en el sistema de comunicaciones vía satélite son utilizadas las microondas, las cuales son usadas por un numero definido de razones. Al utilizar la parte alta del espectro en frecuencia se pueden emplear una gran cantidad de información porque al incrementarse la frecuencia utilizada se tiene mayor ancho de banda disponible. La utilización de antenas directivas ofrece la posibilidad de utilizar una menor cantidad de potencia en el enlace.

La transmisión de microondas por satélite no es susceptible a las perturbaciones atmosféricas como en los enlaces por línea de vista que son susceptibles a las perturbaciones debidas al ruido atmosférico.

La órbita geostacionaria ha visto incrementada el uso de ella, razón por la cual se ha incrementado la cantidad de satélites que utilizan dicha órbita, así como la utilización de la banda C, que también es compartida para sistemas terrestres .

1.3 BANDAS DE FRECUENCIA

Los sistemas de comunicación vía satélite emplean la parte alta de frecuencia de el espectro electromagnético, este es localizado en la zona de las microondas (frecuencias superiores a 1 GHz), este es representado en la *figura 1.1*. Concretamente el sistema de satélites transmite desde 1 GHz hasta 30 GHz , en todo esta gama de frecuencias se han

subdividido en bandas de frecuencias los cuales se muestran en la *tabla 1.1*. En los últimos años los satélites geoestacionarios operan dentro de la banda C y la banda Ku.

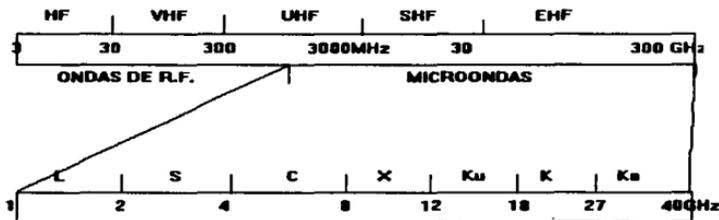


Figura 1.1 Espectro Electromagnético

BANDA NOMBRE	ANCHO DE BANDA (GHz)
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 - 18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
V	40 - 75
WW	75 - 110
mm	110 - 300

Tabla 1.1 Frecuencias de Operación de las Microondas

1.4 POLARIZACIÓN

Las ondas electromagnéticas por su naturaleza tienen una trayectoria que es semejante a la que sigue la luz. Tienen un campo magnético y un campo eléctrico que se encuentran desfasados 90° . La posición de estas componentes es la que define la polarización de la onda electromagnética, existen 2 formas de polarización, una la denominada *Lineal* y la otra llamada *Circular*, dentro de la *Lineal* esta definida la polarización Vertical y la polarización Horizontal (Véase la figura 1.2)

Los alimentadores de las antenas que están diseñadas para recibir señales en polarización lineal deben de estar propiamente orientadas. Recientemente, muchos de los satélites domésticos usan en su formato la polarización lineal. En contraste INTELSAT utiliza frecuentemente en banda C la polarización circular. No obstante la polarización circular es usada en radiodifusión de señales *DirectV*, la cual no es su único uso .

En la polarización Circular los campos Eléctrico y Magnético viajan rotando a manera de tornillo a través del espacio, en movimiento semejante a una espiral (Véase la figura 1.3)

La dirección de rotación determina el sentido de la polarización circular. Una rotación en sentido derecho es visto por el satélite como Polarización Circular en Sentido Derecho (RHCP), una señal rotando en dirección opuesta (sentido mano izquierda) es vista por el mismo como Polarización Circular Sentido Izquierdo (LHCP), esto puede observarse en la misma figura.

La polarización circular fue utilizada por los primeros satélites, pero como era necesario emplear ajustes para la alineación de la onda, esta fue eliminada. Existe un fenómeno llamado *Rotación de Faraday*, este fenómeno es la rotación de polaridad causada por el campo magnético terrestre y/o tormentas magnéticas, cuando una señal viaja a través de la atmósfera, este problema se presenta cuando es empleada la polarización lineal en

cualquiera de sus formas. La transparencia a la *Rotación de Faraday* hace que la polarización circular sea eminentemente utilizable para transmisión de voz y datos vía satélite

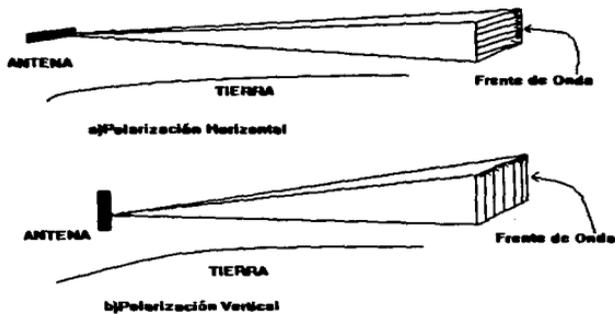


Figura 1.2 Formas de Polarización en Antenas.

1.5 ANTENAS

Es el elemento radiador o receptor más importante del sistema de comunicaciones vía satélite. Las características más importantes son la Ganancia de la misma y el Patrón de Radiación .

La ganancia es un marco de comparación con respecto a una antena ideal llamada *Antena Isotrópica*.

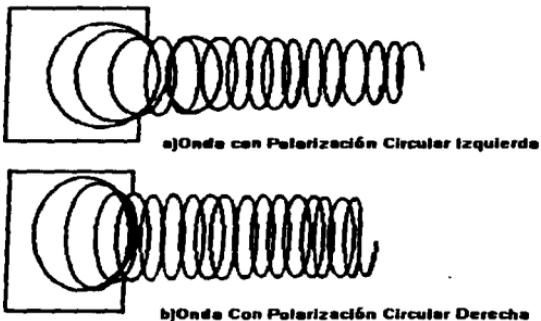


Figura 1.3 Polarización Circular

Las ganancias de las antenas se encuentran expresadas en decibeles (dB), la ganancia debe tener un valor definido que se asocia con la dirección de máxima radiación, la cual dentro de un patrón de radiación forma un lóbulo principal que se encuentra dentro de los parámetros intrínsecos de la antena como son diámetro, rugosidad de la superficie, etc. A mayor diámetro de la antena se tiene mayor ganancia así como mayor estrechamiento en el lóbulo principal. La Antena Isotrópica está definida como una antena ideal que radia simultáneamente con la misma densidad de potencia en todas direcciones y alrededor de ella, esta antena se tiene como referencia en la obtención de la ganancia en antenas reales.

Estrictamente, la ganancia de la antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de la máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación.

El Patrón de radiación de la antena es la forma en que la antena distribuye la energía en un área, esta dado por las características propias de la antena así como las dimensiones de la misma.

En los enlaces satelitales las antenas más empleadas son las antenas del tipo parabólico. Una antena parabólica refleja las señales que llegan a ella y las concentra (como si fuese una lente) en un punto en común llamado *Foco* (Modo de Recepción); así mismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las envía en un haz muy angosto de radiación (modo de transmisión). Este foco coincide con el foco geométrico (véase la figura 1.4), del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena, y en el se coloca el alimentador que por lo general es una antena de *Corneta* (ó bocina); este tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos.

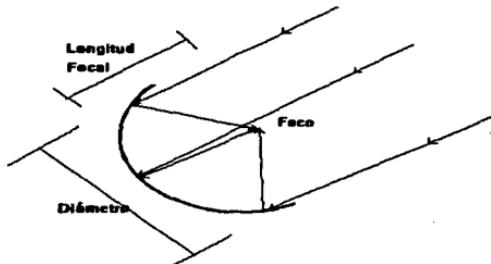


Figura 1.4 Geometría de una Antena Parabólica.

Debido a que siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en que vienen las señales que se quieren recibir o en las que se desea transmitir, y la mínima en todas aquellas direcciones en las que no sean de interés, los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo más pequeños que sean posibles, para que no se capturen señales indeseables provenientes de los satélites adyacentes o de algún otro sistema de microondas, esto en el caso de recepción, y en el caso de transmisión de que no se desperdicie energía en otras direcciones.

Las Antenas parabólicas se clasifican en función de varios parámetros como son los eléctricos, los mecánicos, etc. esta clasificación esta como sigue:

- Discos Parabólicos de un Foco.
 - 1.- Reflector de Foco Primario.
 - 2.- Reflector de Alimentador Offset(de compensación).
 - 3.- Parábola Cassegrain.
 - 4.- Antenas de Plato Plano

Antenas Multifocales.

- 1.- Con Alimentador de Corneta.

1.5.1 REFLECTOR DE FOCO PRIMARIO

Es un reflector único y cuya alimentación es simétrica con respecto al eje focal; al estar situado el foco en el sentido de incidencia de la energía electromagnética que recibe; el reflector genera una zona de sombra en la parábola dejando una pequeña parte de su superficie central fuera sin operar.

Teóricamente todas las señales arriban en forma paralela al eje focal de la parábola, esto puede observarse en la figura 1.5.

Este tipo de antena tiene algunos defectos de manera práctica los cuales se pueden mencionar:

- 1.-El montaje del alimentador a el foco del disco, y el colector y concentrador diseñado, ocupa un área finita en la vecindad de este punto. Como resultado, también intercepta alguna radiaciones provenientes del cielo en el eje focal (ó también llamado eje principal).
- 2.-La superficie reflectora no tiene un comportamiento geométrico, como resultado, una porción de las señales de llegada se dispersa alrededor del disco y en los bordes del alimentador.

1.5.2 REFLECTOR CON ALIMENTADOR DE OFFSET.

Son antenas no simétricas (realmente son una sección de una antena de foco primario) que evita el efecto anterior al quedar desplazado el iluminador de la línea de vista del satélite Este tipo de antenas se encuentran más comúnmente en Banda Ku que en Banda C en el sistema TVRO (Únicamente Recepción de TV) porque la corta longitud focal y pequeñas dimensiones de ambos, el alimentador y el LNA, permite el soporte de compensación para tener más estabilidad.(figura 1.6).

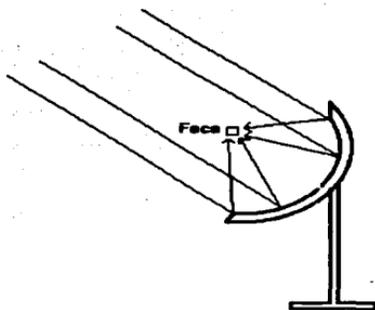


Figura 1.5 Antena de Foco Primario.

La figura 1.7 muestra las diferencias entre las antenas de foco primario y las de tipo Offset.

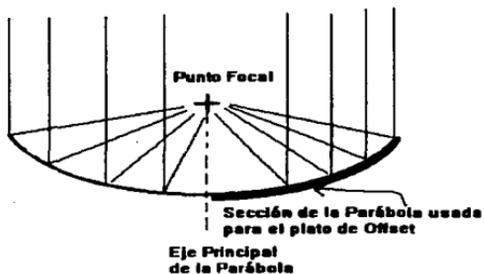


Figura 1.6 Geometría de la antena tipo Offset

En la figura 1.7 se observa claramente las dos opciones.

- a).-La configuración de Offset no bloquea las señales provenientes del Satélite.
- b).-Este tipo de configuración son bloqueadas parte de las señales por el alimentador.

1.5.3 ANTENA CASSEGRAIN

Es un tipo de parábola más habitual para estaciones terrenas de gran demanda de tráfico.

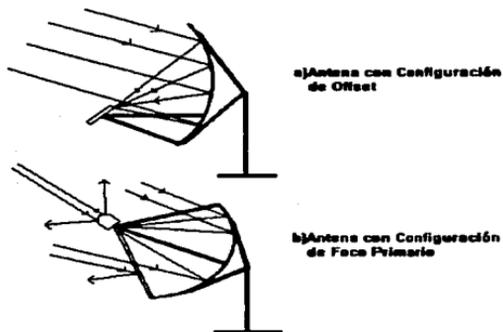


Figura 1.7 Comparación entre los dos tipos de Alimentadores.

Una antena Cassegrain es la combinación de dos reflectores, la geometría de un sistema emplea un contorno parabólico como disco o plato principal y un contorno hiperbólico como disco reflector secundario. En esta figura uno de los dos focos de la hipérbola representa el punto de foco real y donde se localiza el alimentador. El otro foco es un punto virtual que también coincide con el foco del paraboloide.

En climas extremadamente calientes, las estaciones terrenas usan Cassegrain, pueden emplearse mas efectivamente que las de foco primario, porque el LNA esta detrás del plato de la antena y de esta forma se encuentra protegido de la exposición directa de los rayos solares.

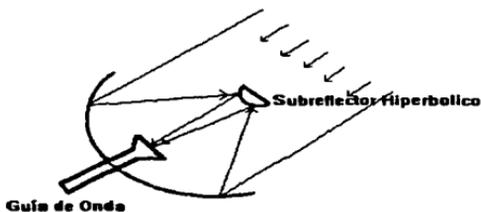


Figura 1.8 Geometría de Antena Cassegrain.

1.6 EL TRANSMISOR

Además de una antena, en la parte del el transmisor de un sistema Satelital, el equipo de RF incluye el Modulador, Amplificadores de Potencia (HPA, High Power Amplifier) y el Convertidor Ascendente (Up Converters), para convertir las señales de Frecuencia Intermedia a una nueva posición del espectro radioeléctrico, en donde las nuevas frecuencias

que la integran son mucho mas altas que cuando salieron del modulador, dicha señal puede centrarse en cualquiera de las bandas antes mencionadas.

El Modulador es el encargado de realizar la combinación de las dos señales, la Portadora y la señal a transmitir, en este caso la información o señal Moduladora, que puede ser una señal analógica o una señal digital y en función de este tipo de señal será el tipo de Modulación requerida.

Después de este paso la señal tiene ahora la frecuencia para poder ser radiada hacia el satélite, pero el nivel de potencia será muy bajo, por esta situación será necesario el tener que amplificarla antes de entregarla a la antena. Para esto son utilizados los HPA que utilizan para el propósito cualesquiera de los dos tipos siguientes:

- 1.- El Tubo de Onda Progresiva TWT (Traveling Wave Tube)
- 2.- El Klistron.

1.6.1 El TWT

El TWT emplea el principio de modulación de velocidad en la forma de ondas guiadas. La señal de RF es amplificada al viajar por la estructura llamada Hélice. La Hélice puede decirse que es como una línea coaxial especial de transmisión con gran valor inductivo por unidad de longitud.

La inductancia proporciona al circuito coaxial una velocidad de fase mucho menor que en el espacio libre. Bajando la velocidad de propagación hasta igualar la velocidad de los electrones que se dirigen al colector. conforme el Haz y la señal de entrada se mueven juntas, sus campos interaccionan para producir la modulación en velocidad de los electrones, los cuales transfieren energía a la señal por lo que esta se ve amplificada debido a que es

posible perder todo el enlace si el amplificador llegase a fallar, es común encontrar sistemas donde hay amplificadores de redundancia.

Generalmente el nivel de potencia a la salida del convertidor de subida es pequeño en comparación con el que debe aplicarse a la entrada del amplificador de potencia para que este funcione adecuadamente, es común adicionar un amplificador excitador entre el convertidor de frecuencia y el amplificador de potencia como una etapa de amplificación a niveles de potencia intermedia.

Este tubo presenta un ancho de banda de 500 GHz, y tiene un alto consumo de potencia, presentando un sistema de enfriamiento independiente.

Dentro del ancho de banda es posible transmitir 24 canales de TV o su equivalente en canales telefónicos. Sus características de operación son satisfactoriamente uniformes a cualquier rango de frecuencia, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas, su potencia de salida no se puede aumentar al máximo, de hacerlo, al ocupar todo el ancho de banda con portadoras múltiples los productos de intermodulación aumentarían.

Para reducir este ruido de intermodulación, es necesario operar al amplificador en un nivel de potencia máxima nominal de salida (Back Off) para esto se utilizan bandas de guarda y se reduce la potencia de las portadoras a la salida del sistema, esto se vera con detalle en capítulos posteriores.

1.6.2 KLISTRON

Un Klistron es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión. Cuando un estación terrena tiene varios de estos elementos y desea transmitir toda la información precedente de ellos a través de una misma

antena, se necesita un combinado de señales que introduce pérdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por Back Off en los TWT.

Además de estas pérdidas, el combinador de señales se convierte en un punto de interacción entre las salidas de los distintos Klistrons que puede conducir a interferencias a entre ellos, así mismo cuando se requiere cambiar de transpondedor en el satélite, es preciso sintonizar al Klistron correspondiente, de cualquier forma, varios usuarios aun eligen Klistrons para sus instalaciones, porque su eficiencia de aprovechamiento de energía eléctrica (se encuentra alrededor del 40 %), es mayor que la de los TWT, son muy confiables y robustos, duran mucho mas tiempo en servicio, y además son mucho mas económicos.

Particularmente, son empleados para transmitir canales de televisión y en estaciones terrenas de poca potencia que transmiten unos cientos de canales de telefonía o datos, pero en este ultimo caso la potencia necesaria determina finalmente el tipo de amplificador que se use, ya que no hay Klistron con potencias de menos de 400 Watts y pueden resultar excesivos para cierto tipo de aplicaciones.

1.7 EL RECEPTOR

Al Recibir la antena la señal proveniente del satélite es entregada a un amplificador de Bajo Ruido (LNA). En la recepción se tiene que la antena y el LNA son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de operación al menos en la primera etapa.

La antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite en la polarización y en las bandas de frecuencia con las que funciona, es decir información de diversos tipos en un ancho de banda de 500 MHz; sin embargo lo más común es que cada

estación en particular solamente le sea de interés recibir sólo una fracción de toda esa información.

La antena tiene una capacidad de amplificación, llamada *Ganancia*. Para fines de recepción, este es un parámetro, más importante y se designa como G

Por otra parte el amplificador de bajo ruido tiene una *Temperatura de Ruido*, como su principal parámetro indicativo, y mientras esta sea más baja el ruido que se añade a la señal es menor y localidad de la recepción aumenta.

Sin embargo, no solamente se introduce el ruido en la señal a través del LNA, sino también por la antena y su magnitud se calcula en función de la *Temperatura de Ruido de la Antena*. La suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del LNA determinan casi completamente la temperatura total T de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores del sistema sean bajas.

El valor del cociente G/T es una cantidad que se utiliza para definir las cualidades de la recepción de una estación terrena, y según el satélite empleado debe tener un valor mínimo para funcionar aceptablemente.

Esta relación G/T se conoce como Factor de Calidad ó *Figura de Mérito* cuyas unidades son dB°K . Una característica es que si la temperatura física se logra reducir, entonces la temperatura de ruido también baja, por lo tanto, es deseable enfriar al amplificador lo mas que se pueda y colocarlo lo mas cerca posible al duplexor de la antena para reducir las pérdidas.

El convertidor descendente tiene la función de transferir la información completa de los 500 Mhz a una región mas baja del espectro, centrándola a un valor llamado Frecuencia Intermedia (FI) de 70 MHz ,esto es realiza la operación inversa al transmisor.

Algunos fabricantes producen el Amplificador de Bajo Ruido LNA integrado al convertidor de bajada en un solo bloque, ambos van contenidos dentro de la misma caja blindada y el producto se conoce como *Convertidor de Bajo Ruido LNC* (Low Noise Converter), o como *Convertidor Reductor de Bloque de Bajo Ruido LNB* (Low Noise Block Down Converter).

Los LNC y los LNB son utilizados principalmente para la recepción de televisión, de estos dos, el LNC tiene la ventaja de que solo puede alimentar a un receptor a la vez, mientras que el LNB puede alimentar simultáneamente a varios receptores con distintas señales.

La señal de FI que sale del convertidor de bajada aun esta modulada y el paso siguiente para su recuperación es demodularla hasta llevarla a niveles de Banda Base.

CAPITULO II

TÉCNICAS DE MODULACIÓN EN SISTEMAS SATELITALES

2.1 MODULACIÓN ANALÓGICA

2.1.1 MODULACIÓN EN FRECUENCIA.

Existen muchas formas de modular la información, de aquí que exista gran cantidad de sistemas. Podemos agrupar las distintas formas de modulación en dos grandes grupos:

- 1.- Modulación analógica.
- 2.- Modulación Digital

En la primera, la información tiene la forma de señales con valores continuos en tiempo; en la segunda se puede decir que la información viene codificada en un formato digital y se puede tratar de palabras, datos, voz, imágenes, etc.

En la modulación analógica , existen tres propiedades que pueden variar en función del tiempo, estas son:

- 1.-Amplitud
- 2.- Frecuencia
- 3.- Fase

En este caso solo nos ocuparemos de la Modulación en Frecuencia por emplearse esta en algún tipo de transmisiones en la comunicación vía satélite. Históricamente, la modulación angular fue introducida en 1931 como una forma alterna de modulación a la AM existente. Se sugirió que una señal modulada en ángulo era más inmune al ruido que una

señal de AM y, consecuentemente, podría tener un mejor desempeño para las radiocomunicaciones.

Una modulación angular es el resultado de la variación de el ángulo de fase (θ) con respecto al tiempo de una onda sinusoidal, esto se expresa matemáticamente en la ecuación 2.1. Existen dos tipos de modulación angular, en este caso solo analizaremos el comportamiento de la Modulación en Frecuencia (FM), pues esta es la única utilizada en sistemas satelitales y la Modulación en Fase (PM) no existe aplicación de la misma.

$$M(t) = A_c \cos[\omega_c t + \theta(t)] \quad 2.1$$

donde:

- $M(t)$.- La portadora modulada en ángulo
- A_c .- La amplitud pico de la portadora
- ω_c .- La velocidad angular de la portadora
- $\theta(t)$.- La señal moduladora.

De la ecuación 2.1 $\omega_c t + \theta(t)$ puede definirse como $\varphi(t)$.

En la modulación en frecuencia se definen dos parámetros:

- a).- Frecuencia instantánea.
- b).- Máxima desviación en frecuencia

Frecuencia instantánea es la frecuencia precisa de la portadora a un tiempo dado y matemáticamente es la primera derivada de $\varphi(t)$.

La máxima desviación en frecuencia esta dada típicamente como el cambio pico de la frecuencia en Hz, que sufre la portadora en función de la señal moduladora, esta también es llamada excursión de la portadora en frecuencia, matemáticamente se expresa en ecuación 2.5.

De la ec. 2.1 se tiene

$$\omega_i = \omega_c(t) + k_f m(t) \quad 2.2$$

$$\theta(t) = \int (\omega_c(t) + k_f m(t)) dt \quad 2.3$$

$$M(t) = A_c \cos \left(\omega_c t + \frac{ak_f}{\omega_m} \sin \omega_m t \right) \quad 2.4$$

donde

$$ak_f = \Delta f \quad 2.5$$

y

$$\frac{\Delta f}{\omega_m} = \beta \quad 2.6$$

donde β es llamado *Índice de Modulación en frecuencia*.

2.1.1.1 ANCHO DE BANDA REQUERIDO PARA SEÑALES MODULADAS EN FRECUENCIA

Se puede decir que el ancho de banda de una señal FM esta en función de la frecuencia de la señal moduladora y el índice de modulación. En FM son producidas bandas laterales y consecuentemente el ancho de banda puede ser significativamente más extenso que el de una señal de AM con la misma señal moduladora. las señales de FM pueden clasificarse en función del índice de modulación como de índice Bajo, índice Medio, índice Alto. Los de índice Bajo son valores de β menores que 1. Los de índice Medio se encuentran entre 1 y 5. Los de índice Alto son para β mayores que 5.

Aunque esta clasificación no es estricta y la clasificación puede variar de acuerdo a algunos autores.

El ancho de Banda en el primer caso es aproximadamente dos veces el valor máximo en frecuencia de la señal moduladora (como en AM), esto puede observarse en alguna tabla de *Funciones de Bessel*.

Para un índice de Modulación Medio el ancho de banda se calcula en función del número de componentes de bandas laterales significativas que aparezcan en el espectro en frecuencia, la expresión matemática esta dada por la ecuación 2.7.

$$AB = 2mf_m \quad 2.7$$

Y para un índice de modulación alto se determina como dos veces el valor en frecuencia de la Máxima desviación en frecuencia (véase ecuación 2.8)..

$$AB = 2\Delta_f \quad 2.8$$

2.2 MODULACIÓN DIGITAL.

Así como existen una multitud de técnicas de modulación para señales analógicas, también la información digital se puede imprimir sobre una onda portadora senoidal de varias maneras.

Las tres técnicas que se pueden emplear la modulación digital son:

1. Modulación por Corrimiento de Amplitud (ASK).
2. Modulación por Corrimiento de Frecuencia (FSK).
3. Modulación por corrimiento de Fase (PSK).

Un paso final de la generación de señales binarias es, que las señales resultantes pueden modular una portadora de RF.

Para propósitos de transmisión, muy comúnmente, las señales de banda base tienen que ser desplazadas a frecuencias muy superiores para que su transmisión sea más eficiente, las señales Banda Base constituyen la señal moduladora, estos tres tipos de modulación pertenecen al grupo de señales de Modulación de *Onda Continua*, porque en ella la portadora es una señal senoidal.

La señal al llegar al receptor, esta deberá de recuperar su forma original, este proceso es llamado *Detección o Demodulación*, el demodulador efectúa el proceso que nos permitirá regenerar la información binaria.

Existen dos tipos de detección, uno es denominado Detección Coherente o Síncrona, el segundo es llamado Detección No Coherente, este tipo de detección es también llamado Detección de Envoltorio o Asíncrona.

En la Detección Síncrona requiere una señal de referencia perfectamente marcada que bien puede estar en un tono piloto transmitido, o puede ser la frecuencia de la portadora misma.

La Detección No Coherente no requiere de referencia alguna, este tipo de Demodulación se refiere a demoduladores que están diseñados para operar sin conocer el valor absoluto de la frecuencia y fase en la señal que llega, por lo tanto, la estimación de las dos componentes no son requeridas. De este modo la ventaja del sistema No Coherente sobre el Coherente es la reducida complejidad del equipo, y el precio que se paga es el incremento de la probabilidad de error durante la recepción de la información digital, en vez de recibir un *uno* recibiremos un *cero*.

2.2.1 MODULACIÓN POR CORRIMIENTO DE AMPLITUD (ASK).

En este tipo de modulación la amplitud de la portadora se conmuta entre 2 valores, es la análoga a la modulación en amplitud, es decir se tienen las mismas variantes en ASK como en AM pero analizada para el caso binario.

Para mensajes digitales se representaría por la presencia o ausencia de la portadora, de esta forma surge la modulación conocida como On - Off Keying (OOK) que fue la primera en utilizarse para la transmisión binaria.

La onda modulante consiste en pulsos de RF o marcas, que representan al binario 1 y espacios, que representan al binario 0 . La señal OOK puede ser detectada de cualquiera de las dos formas, Coherente o no Coherente pero debido a la complejidad de la primera, no es muy usada en los canales digitales.

La ecuación que representa a la señal OOK se muestra en la ecuación 2.9 donde la señal modulante $m(t)$ esta representada por los valores uno y cero, esto es que para un valor de la señal modulante cero la ecuación se reduce a cero, puesto que la amplitud de la portadora también es igual a cero.

$$\varphi_{OOK} = \frac{A}{2} (1 + m(t)) \quad 2.9$$

De donde se deduce que para un valor de uno en la señal moduladora, será el valor de la señal OOK y para un cero no existirá valor alguno de la portadora.

Este tipo de modulación no es empleado en sistemas de comunicación, y por esta razón no es tratado a detalle.

2.2.2 MODULACIÓN POR CORRIMIENTO DE FRECUENCIA (FSK).

Esta modulación corresponde a la versión digital de la Modulación en Frecuencia, esta caracterizada por el uso de dos frecuencias separadas por una diferencia de frecuencias llamada *desviación en frecuencia* (Δf) que, comparada con el valor de la frecuencia portadora, esta resulta tener un valor muy por abajo de esta.

El sistema FSK fue originalmente basado en el concepto de una señal telegráfica usando la transmisión en Modulación en Frecuencia, ahora en el sistema binario se utilizan dos señales cuyas frecuencias son distintas, estas dos señales ω_1 y ω_2 son designadas para un *uno* y la otra para un *ceros*, recordando que la amplitud es constante para este tipo de modulación.

La expresión general para una señal binaria FSK esta mostrada en la ecuación 2.10, en ella puede verse que con FSK binario la amplitud de la portadora V_c permanece constante con la modulación. De cualquier forma la frecuencia de la portadora varia en función de los *unos* y los *ceros* de la señal moduladora.

$$v(t) = V_c \cos\left(\omega_c + \frac{v_m(t)\Delta\omega}{2}\right)t \quad 2.10$$

donde :

$v(t)$.- Forma de onda FSK

V_c .- Amplitud máxima de portadora sin modular

ω_c .- Frecuencia de la portadora

$v_m(t)$.- Señal moduladora binaria

$\Delta\omega$.- Corrimiento de frecuencia

Estos cambios son del valor de $\pm\Delta\omega/2$. El corrimiento o desplazamiento de frecuencia $\Delta\omega/2$ es proporcional a la amplitud y polaridad de la señal binaria. Por ejemplo, un uno binario podría ser +1 volt y un cero binario -1 volt respectivamente (Señal Polar No Regreso a Cero NRZ) produciendo un corrimiento o cambio de frecuencia de $+\Delta\omega/2$ y $-\Delta\omega/2$ respectivamente. En suma, la velocidad a la cual la portadora cambia su frecuencia es igual a la velocidad de cambio de la señal de entrada binaria $V_m(t)$. De esta forma la frecuencia de salida de portadora se desvía entre $\omega_c + \frac{\Delta\omega}{2}$ y $\omega_c - \frac{\Delta\omega}{2}$ a una velocidad igual a la f_m . La forma de onda característica de la señal FSK se muestra en la figura 2.1.

El más simple sistema FSK es uno con una señal moduladora rectangular la cual tendrá un señal con dos simples ecuaciones como se muestra en la ecuación 2.11, donde A es el valor de la señal portadora, ω_m es la frecuencia de la señal para una marca y ω_s es para un espacio. Una representación alternativa de la onda FSK consiste en hacer $\omega_m = \omega_p + \Delta\omega$ y $\omega_s = \omega_p - \Delta\omega$.

$$\varphi_{FSK} = \begin{cases} A \cos \omega_m t \\ A \cos \omega_s t \end{cases} \quad 2.11$$

Esto es que la señal portadora se verá disminuida en $-\Delta\omega$ y aumentada su frecuencia en $+\Delta\omega$, de aquí entonces se tiene la ecuación 2.12.

$$\varphi_{FSK} = A \cos(\omega_p \pm \Delta\omega) t \quad 2.12$$

El espectro en frecuencias de la señal FSK se puede observar en la figura 2.2 , en el se tiene que el espectro resultante de la señal es igual a la suma de los dos espectros de las ondas ω_1 y ω_2 . Como se observa, el ancho de banda depende de Δf . Si $\Delta f \gg B$ el ancho de Banda tiende a $2\Delta f$. De esta forma se tendrá una gran separación entre tonos del sistema FSK.

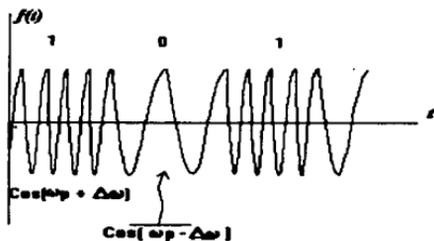


Figura 2.1 Forma de Onda FSK.

En este caso el ancho de banda es virtualmente independiente al ancho de banda de la señal banda base (B). Por otro lado, si $\Delta f \ll B$ el ancho de banda tiende a $2B$, estando en este caso, el ancho de banda depende del ancho de banda de la señal banda base.

Con FSK binario la frecuencia central de la portadora es desviada por los datos binarios de entrada. Consecuentemente, la salida de un modulador binario FSK es una función escalar en el dominio del tiempo. Como la señal de entrada binaria cambia de un *Cero* lógico a un *Uno* lógico, y viceversa, la salida FSK conmuta entre dos frecuencias, una marca y un espacio.

Existe entonces un cambio en la salida de la frecuencia cada vez que la condición lógica de la señal de entrada binaria cambia. Por lo tanto, la velocidad de cambio a la salida es igual a la velocidad de cambio de la entrada..

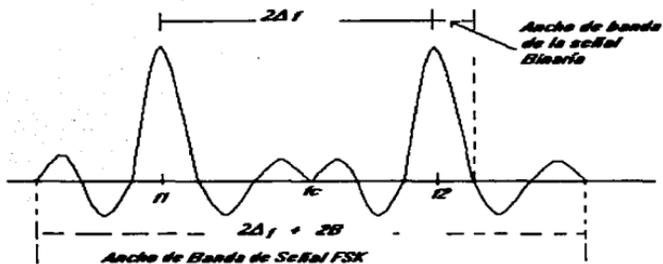


Figura 2.2 Espectro en Frecuencias de la señal FSK.

En modulación FSK, la velocidad de cambio a entrada de el modulador es llamada *bit rate* y sus unidades son el bit por segundo (bps). La velocidad de cambio a la salida del modulador es llamada Baud o *Baud rate* y es igual al recíproco de el tiempo de señalización de un elemento de salida. En esencia, el baud es la velocidad de los símbolos por segundo.

2.2.2.1 RECEPCIÓN FSK

El circuito más común empleado para la recepción o demodulación de señales FSK (véase figura 2.3) es un circuito denominado de Fase Cerrada (Phase Locked Loop) PLL, este demodulador trabaja en forma parecida a un demodulador de Fase cerrada para FM. Como la salida del PLL se mueve entre la marca y el espacio de frecuencia, el error de voltaje de directa a la salida del comparador de fase sigue a el movimiento de frecuencia, porque hay solamente dos entradas de frecuencia (marca y espacio), hay también solamente dos salidas de error de voltaje. uno representa a un *uno* lógico y el otro a un *cero* lógico.

Por lo tanto, la salida son dos niveles binarios. Generalmente, la frecuencia natural de el PLL se hace igual a la frecuencia central del modulador FSK

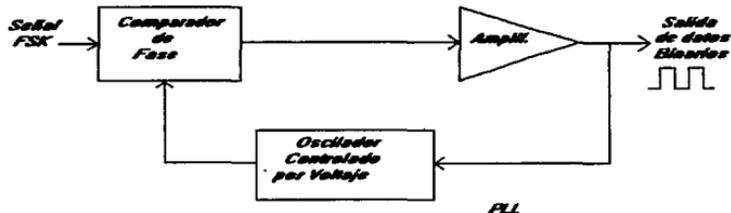


Figura 2.3 Demodulador FSK empleando un PLL

2.2.3 MODULACIÓN POR CORRIMIENTO DE FASE (PSK)

Otra de las formas de Modulación Digital es la Modulación por Corrimiento de Fase, este tipo de modulación conmuta la fase de la portadora en función de la secuencia binaria $b(t)$. Existen cuatro formas o variantes dentro de la modulación PSK, estas cuatro formas son:

1. Modulación por dos fases PSK, también llamado BPSK (Binary Phase Shift Keying).
2. Modulación por cuatro fases PSK, QPSK (Quaternary Phase Shift Keying)
3. Modulación por 8 fases PSK, 8 - PSK
4. Modulación por 16 fases PSK, 16 - PSK

De las 4 formas anteriores, para los sistemas de comunicación vía satélite solamente son empleados los primeros dos esquemas de modulación, los otros restantes son empleados en sistemas terrestres de enlace de datos.

2.2.3.1 MODULACIÓN BPSK

En la modulación BPSK es la fase de la portadora la que se conmuta entre 0 y π radianes, o se puede considerar que lo que varía es en este caso la polaridad de la portadora de acuerdo con la información binaria que se desee modular.

Cuando se conmuta la fase de la portadora entre 0 y π radianes en el sistema PSK, este es conocido como señales PSK M-arias, para el caso M es dos ($M = 2$) serían dos fases, Bifase o binaria, entonces resulta el sistema binario PSK o BPSK, y la señal modulada tiene 2 estados $m_1(t)$ y $m_2(t)$ los cuales están dados por la ecuación 2.13.

$$\begin{aligned}m_1(t) &= A \cos \omega_p t \\m_2(t) &= -A \cos \omega_p t\end{aligned}\tag{2.13}$$

Estas señales pueden ser generadas por un sistema mostrado en la figura 2.14.

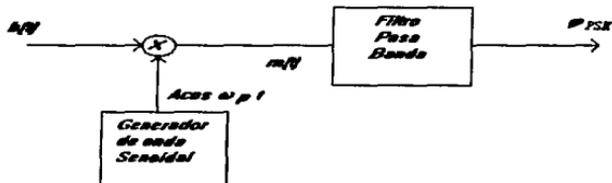


Figura 2.14 Modulador de Señales BPSK.

De esta figura $b(t)$ representa a la señal binaria con niveles +1 y -1 los cuales al ser modulados implicarán un cambio de fase de la portadora de 0° y 180° , estos cambios de fase están representados en la figura 2.15.

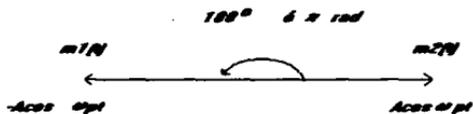


Figura 2.15 Defasamiento de la portadora de una señal BPSK.

Así entonces la información es contenida en los cambios de fase de la portadora., de esta manera la ecuación general de una señal BPSK puede expresarse en términos de defasamiento de la misma, como se expresa en la ecuación 2.14.

$$m(t) = A \cos(\omega_p t + \varphi(t)) \quad 2.14$$

En donde $\varphi(t)$ es 0° ó 180° , La forma de onda característica se muestra en la figura 2.16.

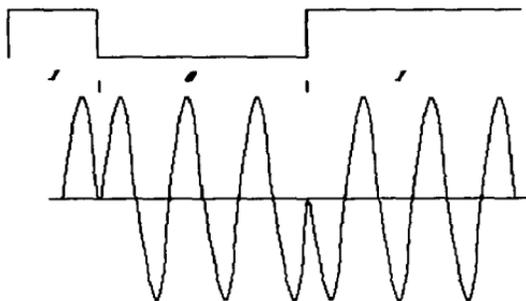


Figura 2.16 Forma de Onda de un modulador BPSK

En la figura los cambios de la fase de la portadora son: de 180° a 0° para la transición de 1 a 0 binario y de 0° a 180° para la transición de 0 al binario.

2.2.3.2 DETECCIÓN DE SEÑALES BPSK

Note que en la figura 2.16 la portadora cambia en función de un múltiplo entero de el periodo de duración del bit de la señal moduladora, esto hace que la detección sea más fácil pues considerando un sistema de recuperación de portadora (CR) empleando detección síncrona, se podrá insertar la señal senoidal de frecuencia y fase exacta a la portadora transmitida.

En la figura 2.17 se muestra un diagrama a bloques de un receptor BPSK. La señal de entrada puede ser las ya antes mencionadas (véase la ecuación 2.13), el circuito de recuperación de portadora coherente detecta y regenera la señal portadora, esta es igual en fase y en frecuencia a la portadora original. El modulador balanceado es un detector de productos, la salida es el producto de dos señales de entrada (la señal BPSK y la portadora recuperada). El filtro paso bajas separa los datos binarios recuperados de la señal demodulada compuesta .

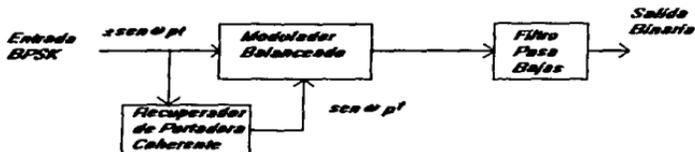


Figura 2.17 Demodulador de señales BPSK.

El proceso matemático de demodulación es como sigue.

Para un uno lógico (señal $\text{sen} \omega_c t$) la salida del demodulador balanceado es:

$$\text{Salida} = (\text{sen } \omega_p t)(\text{sen } \omega_p t) = \text{Sen}^2 \omega_p t$$

$$\text{Sen}^2 \omega_p t = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}(\cos 2 \omega_p t)$$

Y como el filtro pasa bajas remueve las componentes de alta frecuencia, el resultado a la salida del demodulador es $\frac{1}{2}V$ que es un uno lógico. Para la señal $-\text{sen } \omega_c t$ (cero lógico), y haciendo un análisis de semejante al anterior, resulta $-\frac{1}{2}V$ a la salida del demodulador, lo cual implica un cero lógico a la salida.

En algunos casos se recupera la señal $\text{sen } \omega_p t$, en otros casos existe un error de la fase de la portadora y se recupera $\text{sen } (\omega_p t + 180^\circ)$, de esta forma existe un firme error de 180° en la fase de la portadora recuperada, este error invierte la corriente de los datos demodulados y causa un error del 100 %, afortunadamente, la inserción de un simple codificador diferencial dentro del receptor evita errores que pueden ser introducidos por esta ambigüedad de fase.

El sistema que puede evitar esos errores es denominado PSK diferencial (DBPSK), el cual es una modificación al sistema BPSK original, este es el encargado de proveer la sincronía con la portadora en el receptor para demodular la señal, ó de otra manera, evita los problemas de sincronía en el receptor.

El sincronismo de fase es muy difícil de obtener, particularmente si la transmisión se realiza a grandes distancias. esto significa que un reloj del receptor que proporcione el sincronismo deberá encadenarse o amarrarse al reloj del transmisor dentro de una fracción de un ciclo de la portadora, sin importar lo que ello cueste.

Existen varios métodos para obtener la sincronía requerida de la información, de los cuales los más importantes se pueden mencionar:

- 1.- Puede transmitirse una portadora piloto superpuesta a la hilera binaria de señales de alta frecuencia, la cual puede extraerse en el receptor y utilizarse para sincronizar el oscilador local del receptor.
- 2.-El lazo de amarre de fase, encadenado a la hilera de datos o a un tono piloto, puede ser utilizado en el receptor para mantener en cero la diferencia de fase.

2.2.3.3. MODULACIÓN QPSK

Ahora para reducir el ancho de banda ocupado por estas señales, se ocupan señales multinivel, que consiste en la combinación de pulsos binarios para formar un pulso de mayor amplitud, lo que en consecuencia requerirá un menor ancho de banda.

Entonces los sistemas QPSK son usados en aplicaciones donde los sistemas BPSK son insuficientes para el ancho de banda disponible. La mayoría de las técnicas de modulación y demodulación empleadas en los sistemas BPSK también se aplican en QPSK.

QPSK es otra forma de modulación digital, de amplitud constante. QPSK es una técnica de codificación M -aria, donde $M = 4$ (de aquí el nombre de cuaternaria). Con QPSK son posibles cuatro fases de salida para una sola frecuencia portadora, ya que tenemos cuatro diferentes fases de salida, entonces deberá existir cuatro diferentes condiciones a la entrada, pero la señal binaria solo contiene dos, es decir que antes del proceso de modulación deberá existir un proceso de adecuación de la señal binaria.

Con dos bits tenemos cuatro posibles combinaciones :

- 1.- 00
- 2.- 01
- 3.- 10
- 4.- 11

Por lo tanto con QPSK la entrada de datos binarios son condiciones en grupos de dos bits llamados *bits*. Cada bit codificado genera una de cuatro posibles fases de salida; por lo tanto, para cada 2 bits registrados en el modulador, un cambio único de salida, por esta situación la velocidad de salida del modulador es la mitad de la velocidad de entrada, los estados correspondientes de fase son mantenidos durante la señalización durante el intervalo T_s (Período de la señal binaria de banda base), Las cuatro señalizaciones son descritas en las ecuaciones 2.15, 2.16, 2.17, y 2.18.

1. $\varphi_{11} = A \cos(\omega_p t + 45^\circ)$ 2.15
2. $\varphi_{01} = A \cos(\omega_p t + 135^\circ)$ 2.16
3. $\varphi_{00} = A \cos(\omega_p t + 225^\circ)$ 2.17
4. $\varphi_{10} = A \cos(\omega_p t + 315^\circ)$ 2.18

En estas ecuaciones los subíndices representan el estado correspondiente y la fase de la portadora respectiva. En la figura 2.18 se muestra la representación de las cuatro fases correspondientes a estas ecuaciones. esta gráfica es denominada *Constelaciones de señales QPSK*. El eje Horizontal es llamado *Eje en Fase* y el eje Vertical es llamado *Eje en Cuadratura*.

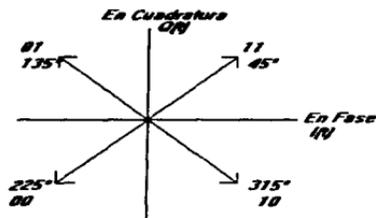


Figura 2.18 Representación gráfica de las cuatro fases PSK

Esta representación gráfica de las señales QPSK, también se pueden graficar de tal forma que no exista defasamiento con respecto al eje en fase ($I(t)$) Estas cuatro señales tendrán un defasamiento entre ellas de los mismos 90° , esto da como resultado cuatro nuevas ecuaciones, las cuales se agrupan en la ecuación 2.19.

Un diagrama a bloques de un modulador de señales QPSK es mostrado en la figura

2.19.

$$\begin{aligned} \varphi_{11} &= A \cos(\omega_p t + 0^\circ) \\ \varphi_{01} &= A \cos(\omega_p t + 90^\circ) \\ \varphi_{00} &= A \cos(\omega_p t + 180^\circ) \\ \varphi_{10} &= A \cos(\omega_p t + 270^\circ) \end{aligned}$$

2.19

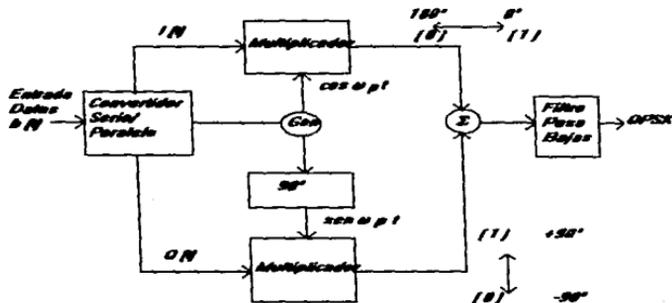


Figura 2.19 Modulador de Señales QPSK

La corriente de datos es convertida en dos corrientes a través de un convertidor Serie/Paralelo.

Una corriente esta en fase, $I(t)$, y la otra esta en cuadratura, $Q(t)$, con un periodo binario igual a la mitad que el periodo de entrada al sistema. La relación entre la entrada de datos y las corrientes $I(t)$ y $Q(t)$ se muestran en la figura 2.20.

Ambas $I(t)$ y $Q(t)$ se aplican separadamente a los multiplicadores (Mezcladores Balanceados), la primera entrada a el multiplicador $I(t)$ es la señal portadora $\cos \omega_p t$, y la segunda entrada a el multiplicador $Q(t)$, que es la señal portadora misma pero corrida en fase 90° ($\sin \omega_p t$), a la salida de los multiplicadores se obtienen dos señales BPSK.

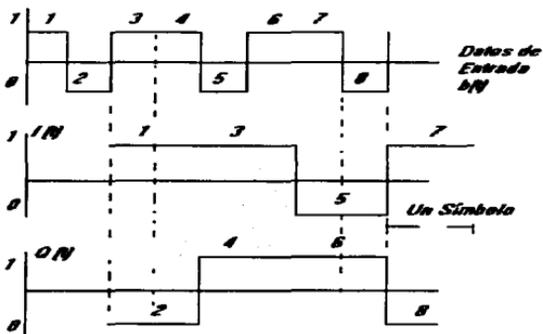


Figura 2.20 Conversión de la señal de entrada $b(t)$ en dos corrientes, $I(t)$ y $Q(t)$

De la figura 2.20 el multiplicador $I(t)$ a su salida tiene una fase de 0° ó 180° relativos a la portadora, y el $Q(t)$ tiene una fase de 90° ó 270° . La salida de ambos multiplicadores son

entonces sumados para dar una sola señal de cuatro fases. De este modo la señal QPSK puede ser considerado como dos sistemas BPSK operando en cuadratura. En esta figura también se observa que el periodo de un símbolo es la mitad del periodo de la señal original binaria $b(t)$, esto significa que la nueva señal QPSK ocupa un ancho de banda correspondiente a la mitad de la señal Banda Base.

2.3 PCM

En el servicio de comunicación vía satélite, existen dos formas para tratar las señales, estos son los sistemas analógicos y los sistemas digitales, es este el caso en el que se tratan las técnicas de conversión analógico digital

2.3.1 MUESTREO Y RETENCIÓN

El primer paso a la digitalización de una señal analógica consiste en establecer valores discretos en el tiempo, durante los cuales la señal de entrada es *muestreada*, la definición de muestreo puede ser :

“Tomar valores de la señal analógica a intervalos regulares de tiempo”, en este proceso es utilizado un tren de impulsos periódico (realmente es utilizado una señal tren de pulsos en cuya duración es lo mas pequeña posible), el periodo de este tren de impulsos depende de la frecuencia de muestreo de Nyquist (la frecuencia de muestreo de una señal analógica es cuando menos el doble de el ancho de banda de la señal, matemáticamente se expresa como $f_s \geq 2AB$. Las unidades son Hz o también Muestras/seg.).

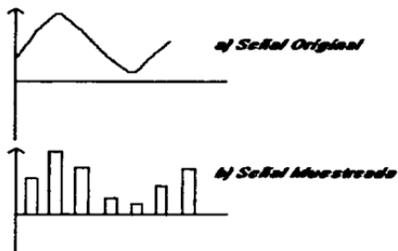


Figura 2.21 Proceso de Muestreo

El proceso de muestreo también resulta ser la multiplicación de un tren de pulsos con una señal analógica, esto trae como consecuencia el desplazamiento de los espectros en frecuencia (convolución)

Para que una señal pueda ser muestreada, esta tendrá que ser pasada a través de un filtro pasa bajas el cual limitará el valor de las frecuencias de la señal analógica, por esta razón se denomina *Señal limitada en Banda*, esto es con el fin de que la señal sea limitada dentro de un rango de frecuencias y al ser muestreada no se traslapen en el espectro en frecuencia y la señal sea posible su recuperación.

En la figura 2.21 se muestra el proceso de muestreo, en este es empleada una señal tren de pulsos periódico, el cual tiene una frecuencia de periodo que es mayor que el especificado por Nyquist, en a) se tiene a la señal original, en b) se tiene a la señal muestreada.

El proceso de retención es retener el valor de la muestra a un valor continuo, a menudo las señales analógicas contienen valores de voltaje ascendente, descendente ó

continuo, esta señal después de ser muestreada, los valores quedan dentro de la muestra del tren de pulsos, para facilitar el siguiente paso, que es el proceso denominado Cuantización ó Cuantificación, si este valor se conservara así como se encontrase en la muestra, entonces implicaría un error en la asignación de el valor cuantificado. por esta razón el valor muestreado deberá de mantenerse retenido dentro de la muestra misma, con esto resulta minimizado el error que se tendría al cuantificar. En la figura 2.21 se tiene en b) a la señal muestreada y retenida.

2.3.2 CUANTIFICACIÓN.

La Cuantificación es el proceso en el que se asignan los valores a las muestras de la señal, esta asignación es al valor discreto predominante cercano, esto es, cada valor muestra se compara con una escala de valores previamente determinados (estos son llamados *Niveles de Cuantización*), y se les asigna el valor más próximo al intervalo en que la muestra este situada.

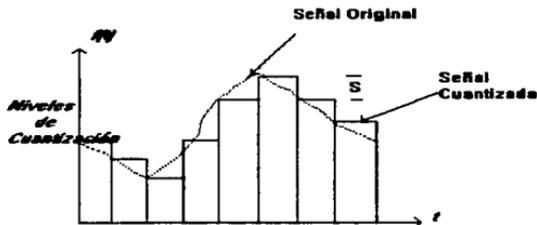


Figura 2.22 Una señal cuantizada.

El proceso de Cuantificación tiene como resultado inevitable una pérdida de información, puesto que es imposible reconstruir la señal analógica original a partir de su versión cuantificada (véase la figura 2.22). En algunos casos la señal muestreada queda por debajo de la señal cuantizada, pero también en otros casos se encuentra arriba de la misma.

Estos errores que se producen por las diferencias entre la señal cuantizada y la señal original, son inevitables, esta diferencia entre las dos señales es llamado *Ruido de Cuantización*, este ruido de cuantización tiene un valor de aproximadamente un nivel, cuando es utilizado la cuantización lineal, en este tipo de cuantización tiene una curva de transferencia como se muestra en la figura 2.23.

En ella se observa que la relación entrada/salida es lineal, esto es que el tamaño de el paso es igual a la altura del escalón (S) es simétrico, estos escalones tienen el tamaño de un nivel de cuantización y son quienes determinan el valor del ruido de cuantización.

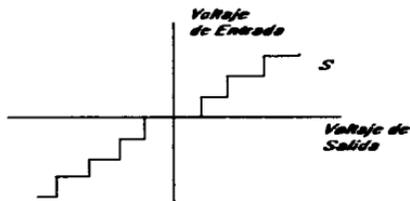


Figura 2.23 Cuantizador Lineal

2.3.3 CODIFICACIÓN.

Las muestras cuantizadas de la señal se codifican en grupos de dígitos o pulsos binarios (bits) de amplitud fija. El código binario es justamente un caso especial de la codificación en los sistemas PCM.

En general cualquier muestra cuantizada de una señal puede codificarse por medio de un grupo de m pulsos, cada uno de los cuales tiene n posibles niveles de amplitud, estos m pulsos deben ser transmitidos en el mismo intervalo de tiempo. Como la información transportada por estos m pulsos equivale a la que llevan los M niveles, entonces el número posible de combinaciones de amplitudes de estos m pulsos debe ser igual a M , esta relación se representa en la ecuación 2.20.

$$M = n^m \quad 2.20$$

donde

m .- Numero de bits

n .- niveles posibles de Amplitud

En el código binario $n = 2$ porque solo existen 2 niveles, por lo tanto resulta la ecuación 2.21.

$$M = 2^m \quad 2.21$$

En datos experimentales se ha demostrado que son suficientes ocho bits para que las señales de voz sean entendibles, para el caso de la señal de vídeo son suficientes los mismos ocho bits para que la señal pueda ser recuperada a su forma analógica.

Con ocho bits por cada muestra se tendrán 256 niveles de cuantización disponibles para la señal analógica muestreada, esta relación de la ecuación 2.21, demuestra que el *Ruido de Cuantización*, que, anteriormente se mencionó que tenía un valor de un nivel de

cuantización, entonces se tendrá un valor de *Ruido* muy pequeño, si se reduce este número de niveles, también se reduce el número de bits empleados por muestra, esto acarrea que el ruido de cuantización crece a medida que el número de bits disminuye.

Un sistema PCM completo se muestra en la figura 2.24, este sistema involucra los temas antes mencionados, estos a su vez se encuentran interrelacionados entre si, entonces la señal de salida contendrá los elementos variantes de cada uno de ellos.

Estas variantes son :

Para el Muestreo: *Muestras/segundo*

Para la Codificación *Bits/muestra*

El sistema resultante PCM estará dado por la ecuación 2.22, la salida estará expresada en términos de velocidad.

$$\frac{\text{Muestras}}{\text{segundo}} \times \frac{\text{bits}}{\text{Muestra}} = \frac{\text{bits}}{\text{segundo}} \quad 2.22$$

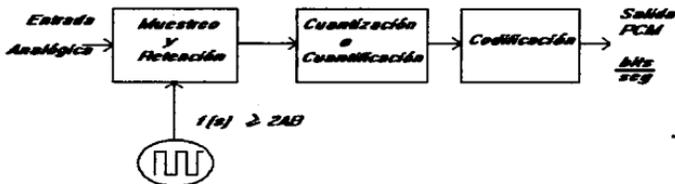


Figura 2.24 Un sistema PCM

2.4 MULTICANALIZACIÓN

Existen dos formas de Multicanalización de señales, una de ellas es exclusiva de las señales analógicas, y la otra de las señales digitales. La primera es denominada Multicanalización por División de Frecuencia (FDM), la segunda Multicanalización por División de Tiempo (TDM). Ambas tienen un funcionamiento específico que es el envío de varias señales, ya sea analógicas o digitales, por el mismo canal de comunicación.

En los sistemas de comunicación vía satélite, ambas son indispensables pues en el caso de las señales analógicas, todas las señales son enviadas por el mismo Transponder con varias portadoras, y en las señales digitales todas son enviadas dentro de la misma ráfaga de información.

2.4.1 MULTICANALIZACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDM)

El sistema FDM tiene su principio en el envío de varias señales analógicas en un solo canal, esta información se encuentra espaciada dentro de un rango de frecuencia (Ancho de Banda), existen para este tipo de multicanalización varias señales moduladas, cada una con su respectiva portadora, además los tipos de modulación pueden ser distintos entre sí, es decir pueden existir combinaciones de las variantes de modulación (Es decir, DBL-PS, DBL, BLU, etc.).

Cada señal a multicanalizar deberá de contener entre cada una de ellas un espacio en frecuencia, este espacio es para evitar que las señales multicanalizadas entre sí se traslapen en el espectro en frecuencia, este intervalo no ocupado es denominado *Banda de Guarda*, un ejemplo de este sistema FDM es la multicanalización telefónica.

En la figura 2.25 a) y b) se muestra la formación de un pregrupo, este es utilizado para multicanalizar tres canales telefónicos en un ancho de banda de 12 KHz, cada una de las señales tiene una banda de guarda de 700 Hz y 300 Hz en cada lado de la información, cabe señalar que se emplea al principio modulación AM-DBL, posteriormente a esta, la señal es pasada por un filtro supresor de banda (SBF), después, nuevamente es filtrada con un Filtro Pasa Altas (HPF), resultando al final una señal con modulación Banda Lateral Única Superior (BLU-S), véase la figura 2.27b).

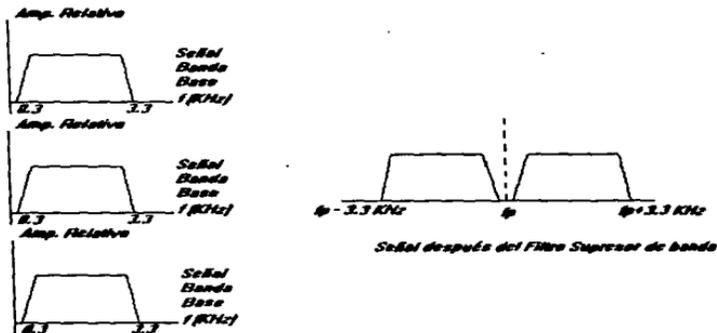


Figura 2.27 a) Formación de un Pregrupo en FDM telefónico

En la figura 2.27 b) se tiene la formación de el pregrupo, mostrándose las dos bandas de guarda entre canales telefónicos, de esta forma cada canal telefónico multicanalizado en FDM tendrá un ancho de banda total de 4 KHz por cada canal.

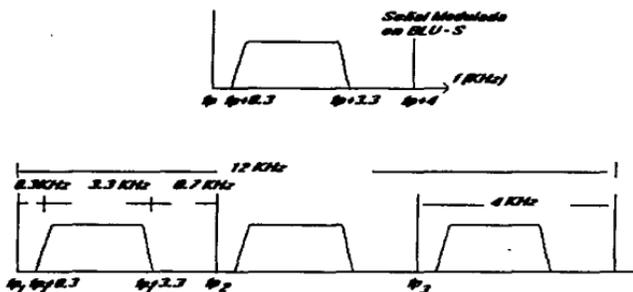


Figura 2.27 b) Formación de un Pregruppo en FDM telefónico

2.4.2 MULTICANALIZACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDM)

Ahora el sistema TDM es uno de los mas empleados en los sistemas de comunicación, esto es por la digitalización de casi todas las señales y la facilidad del manejo de las mismas. en este sistema son intercalados las diferentes señales digitalizadas en una trama o intervalo de tiempo, ahora el espacio en frecuencia llamado banda de guarda en el sistema FDM, es ahora denominado *Intervalo de Guarda*, cuya función principal será la de separar las diferentes secuencias binarias correspondientes de cada señal.

Existen en la práctica dos grandes clases de multicanalizadores, el primer grupo comprende los que combinan datos de baja velocidad, esto es utilizando formatos preestablecidos que van desde los 1200 bps hasta los 9600 bps dependiendo de la aplicación, en estos pueden ir intercalados secuencias de voz y datos en el mismo formato.

El otro gran grupo consiste en los multicanalizadores que tiene velocidades muy superiores a los 9600 bps y para ello se tienen dos jerarquías de transmisión digital, una de ellas es el Sistema ATT y el otro corresponde a la recomendación de CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía), estos dos grupos tienen su base en el sistema PCM antes descrito, donde cada canal telefónico es muestreado a una frecuencia de 8000 Hz y son empleados 8 bits/muestra, esto da como resultado una velocidad de 64000 bits/seg. a la salida de cada canal telefónico.

En la figura 2.28 se muestra la jerarquía ATT, en ella se observa que 24 canales telefónicos a 64 Kbits/seg. no suman en total 1.544 Mbits/seg, es decir la diferencia entre la suma total de los 24 canales y los 1.544 Mbits/seg corresponden a el intervalo de guarda entre cada canal telefónico multiplexado, de esta forma también en los grupos de orden superior existe entre ellos un intervalo de guarda para separación de los mismos canales telefónicos.

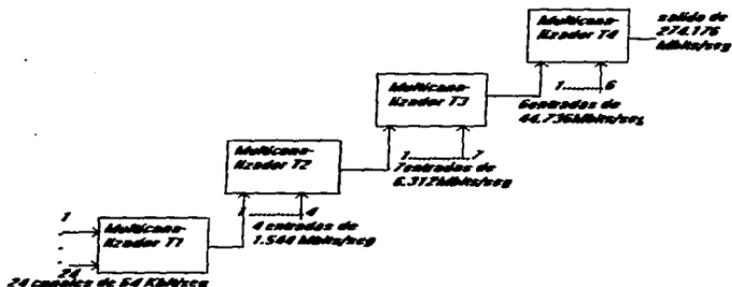


Figura 2.28 Multicanalización para la jerarquía ATT

CAPITULO III

SEGMENTO TERRESTRE Y ESPACIAL

Esencialmente, un sistema Satelital consiste en tres segmentos o secciones :

El enlace de subida (UP LINK).

El enlace de bajada (DOWN LINK).

El Transponder del satélite.

ENLACE DE SUBIDA

Los componentes básicos de el enlace de subida es el transmisor de alta potencia, el transmisor típico consiste en un modulador de FI, un conversor o convertidor de microondas de FI a RF, un amplificador de alta frecuencia HPA y un filtro de componentes para limitar las bandas de el espectro de salida. Estos componentes se encuentran dentro de la estación terrena, este sistema puede observarse en la figura 3.1

ENLACE DE BAJADA

En el modelo de bajada, el receptor de estación terrena incluye un filtro pasa banda de entrada, un LNA (Amplificador de Bajo Ruido) y un conversor de RF a nivel de FI. La figura 3.2 muestra un diagrama a bloques de un receptor de estación terrena, en el filtro limita el ancho de banda de la señal de entrada, el LNA amplifica la señal de entrada al conversor, y el conversor baja la frecuencia de la señal a nivel de FI.

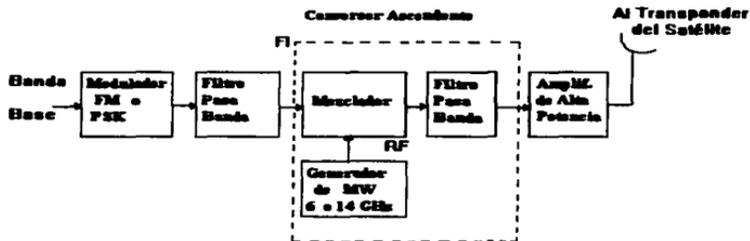


Figura 3.1 Modelo de Enlace de Subida

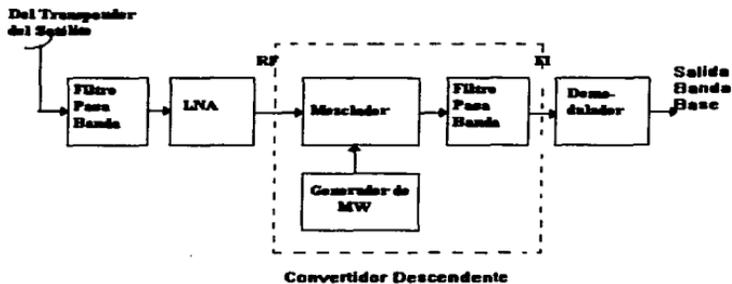


Figura 3.2 Modelo de Bajada del Satélite.

EL TRANSPONDER DEL SATÉLITE

Un típico Transponder Satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada, un LNA, un nuevo convertor de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa banda de salida. La figura 3.3 muestra el diagrama a bloques simplificado de este sistema. El Transponder es un repetidor activo de RF a RF.

El amplificador de potencia de bajo nivel es comúnmente un TWT (Tubo de onda progresiva), el cual amplifica la señal de RF para su retransmisión hacia la tierra, cada canal de RF del satélite requiere de transponder por separado.

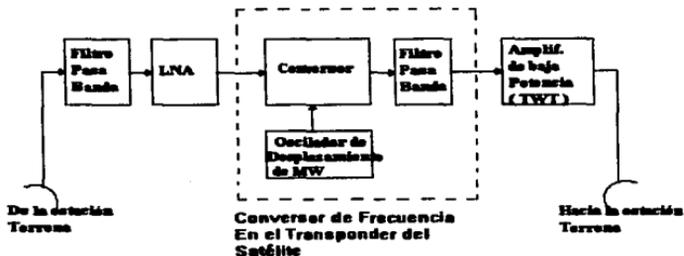


Figura 3.3 Modelo del Transponder del Satélite.

3.1 ESTACIÓN TERRENA.

3.1.1 POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA (PIRE).

La potencia Isotrópica radiada efectiva (EIRP), se define como una potencia de transmisión equivalente y es expresada matemáticamente por la ecuación 3.1.

$$PIRE = P_t - L_f + G_a \text{ (dB)} \quad 3.1$$

donde

P_t .- Potencia del transmisor (dB_w).

L_f .- Pérdidas por los cables de alimentación, filtros (dB).

G_a .- Ganancia de la antena

O bien para una estación terrena, se expresa en la ecuación 3.2 y 3.3.

$$PIRE_{ET} = DFS_c + L_p \quad 3.2$$

$$DFS_c = DFS_{sat} - BO_i + ATP + \left[10 \log \left(\frac{1}{N_c^0} \right) \right] \quad 3.3$$

Donde

DFS_c .-Densidad de Flujo de Saturación de Portadora (dB/m²)

BO_i .- Back Off de entrada (dB)

ATP .- Atenuador de posición (dB)

N_c^0 .-Numero de portadoras (dB)

L_p .- Pérdidas por dispersión (dBm²)

La EIRP de un satélite en particular puede ser fácilmente determinada por cualquier forma de localización geográfica de un mapa en particular, existen en la actualidad muchísimos mapas disponibles para satélites específicos, publicados por *The World Satellite Yearly*.

3.1.2 CONVERSORES DE FRECUENCIA.

Tres distintos esquemas son empleados en los sistemas de recepción vía satélite: simple, dual y conversión de bajada de bloque (véase la figura 3.4) El diseño de el conversor de bajada esta intimamente ligado a el método usado a la selección de canales en la radiodifusión por satélite. El conversor de frecuencia realiza un proceso llamado *heterodinación* o mezclado, este es con el fin de "bajar" el valor de frecuencia de la señal de RF hasta el valor de FI de 70 MHz .

El conversor simple utiliza dos señales, una la señal proveniente del LNA y la otra generada por el mismo, esta señal es llamada VTO (Voltaje Tuned Oscillator). La conversión simple tiene un problema potencial el cual es que el oscilador frecuentemente esta arriba de los 70 MHz o abajo de la frecuencia central de el canal deseado, esta señal cae dentro de el rango de la banda C y puede causar interferencia en los canales cercanos de los sistemas de esta banda. En algunos sistemas de conversión simple de banda C usan circuitos llamados mezcladores de rechazo de imagen para contrarrestar este efecto.

La doble conversión, así como el de conversión simple, el objetivo principal es obtener a la salida 70 MHz, este ahora se realiza con dos señales independientes generados por el mismo conversor. Los dos procesos de mezclado ocurren dentro del conversor de bajada, son empleados dos osciladores con el fin de evitar la interferencia entre la banda C y el canal respectivo. LO es un oscilador local fijo cuya función es realizar la segunda conversión con la señal de salida de la primera conversión.

El Doble Convertor de Bloque es empleado con los LNB, usan un oscilador local fijo para bajar de la banda del satélite a un rango intermedio. Últimamente son empleados los DSOs (Dielectric Stabilized Oscillator) por su estabilidad, estos pueden mantener una estabilidad dentro de 1 MHz dentro de la banda del satélite. El VTO (Voltage Tuned Oscillator) es empleado dentro del receptor mismo para realizar la doble conversión.

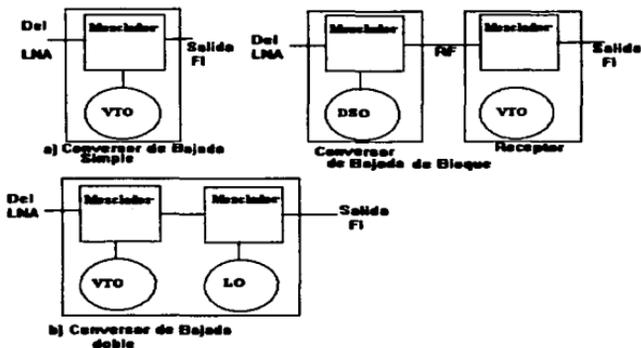


Figura 3.4 Tres tipos de Convertidores de Bajada.

3.1.3 AMPLIFICADORES DE POTENCIA (HPA)

El HPA es el dispositivo encargado de proporcionar la energía suficiente al alimentador de la antena para asegurar el enlace tierra/satélite. Existen en el mercado una amplia variedad de HPAs, para las dos bandas mas empleadas, banda C y banda Ku, conteniendo protección para el TWT, alarma audible, etc.

Existen con una amplia gama de potencias de salida, desde los 75 Watts, hasta los 400 Watts para las dos bandas, esto dependiendo de la aplicación.

3.1.4 ENLACE ASCENDENTE

En el enlace de ascenso son empleados varios elementos los cuales dependen prácticamente del tipo de enlace, estos son desde la ganancia de la antena, así como el tipo de antena empleada, sin olvidar los elementos que proporcionan la eficiencia de la estación terrena, las pérdidas por el espacio libre, por dispersión, etc., estos se detallan por separado en los siguientes subtemas.

3.1.4.1 ECUACIÓN DE ENLACE ASCENDENTE

Las siguientes ecuaciones se utilizan para analizar por separado las secciones de subida de un enlace vía satélite, estas ecuaciones están en función de los parámetros conocidos y por la información disponible.

3.1.4.1.1 FIGURA DE MÉRITO

También conocido como factor de mérito o factor de calidad, es la medida de la sensibilidad de la estación receptora, siendo además independiente de los parámetros de el satélite, este expresa la relación de la ganancia de la antena y la temperatura de ruido presente a la entrada del receptor, su expresión matemática se muestra en la ecuación 3.4.

$$\frac{G}{T} = 10 \log \frac{G_{ANTENA}}{T_{R.S}} \quad 3.4$$

donde

$T_{R.S.}$ es la temperatura de ruido del sistema.

G_{ANTENA} es la ganancia de la antena.

3.1.4.1.2 GANANCIA DE ANTENA

La ganancia de la antena es la medida mas importante de su funcionamiento, en los enlaces via satélite son quienes manejan la señal y la hacen llegar hasta su destino final, esta ganancia esta determinada prácticamente por el diámetro de la misma, así como el factor de eficiencia, este factor esta determinado por los elementos de fabricación de la misma y de el material empleado.

La ganancia de la antena se expresa como la relación entre la intensidad de radiación y la intensidad de radiación de una antena Isotrópica. En la ecuación 3.5 se puede determinar la ganancia de un reflector parabólico, expresada esta en dB_i ; estos dB_i se encuentran referidos a la antena Isotrópica.

$$G = 20 \log\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right) \eta \quad 3.5$$

donde

D.- Es el diámetro de la antena.

λ .- es la longitud de onda de la señal electromagnética.

η .- Es la eficiencia de la antena; esta eficiencia se encuentra entre el 55 % y el 75 %; esta eficiencia es el área que realmente usa la antena para radiar la señal.

3.1.4.1.3 RELACIÓN DE PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO

Para el enlace ascendente, la representación matemática correspondiente está dada por la ec. 3.6

$$[C/No]_{UP} = DFS - G_{RX} - Bo_1 + G/T_{SAT} - K - \mu \quad 3.6$$

Donde

- DFS.- Densidad de Flujo de Saturación.
- G_{RX} .- Ganancia de Antena de Recepción.
- Bo_1 .- Back Off de entrada al amplificador del satélite.
- K.- Constante de Boltzman ($-228.601 \text{ dB}_w/K \text{-Hz}$)
- μ .- Margen de Atenuación por Lluvia.

Otra forma de calcularse se proporciona en la ecuación 3.7.

$$[C/No]_{UP} = PIRE_{ET} + G/T_{SAT} - L_s - K - \mu - L_A \quad 3.7$$

Donde

- $PIRE_{ET}$.- Potencia Isotrópica Radiada Efectiva de la Estación Terrena
- G/T_{SAT} .- Figura de Mérito
- L_s .- Pérdidas en el espacio libre
- L_A .- Pérdidas por Apuntamiento, Atmosféricas y Polarización.

3.1.4.1.4 OTRAS PERDIDAS EMPLEADAS EN ENLACES VÍA SATÉLITE

Las otras pérdidas empleadas en el cálculo del enlace ascendente son las pérdidas en el espacio libre y las pérdidas por dispersión.

PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE

$$L_s = 20 \log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right) \quad 3.8$$

PERDIDAS POR DISPERSIÓN

$$L_p = 10 \log(4\pi D^2) \quad 3.9$$

En Ambos casos D es la distancia entre la estación terrena y el satélite.

3.2 EL SATÉLITE DE COMUNICACIONES

En el sistema de comunicaciones el satélite tiene como función el de un repetidor pasivo, el cual retransmite la señal hacia la estación terrena, en este proceso el transponder del satélite recibe a una frecuencia f_1 y retransmite a otra frecuencia f_2 .

3.2.1 GANANCIA Y POTENCIA DEL SATÉLITE

En la figura 3.5 se muestra el diagrama simplificado de un transpondedor.

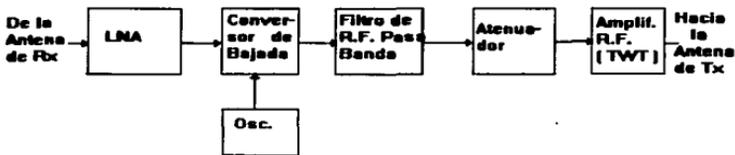


Figura 3.5 Diagrama Simplificado de un Transponder

El atenuador que se muestra en la figura 3.5 su valor puede controlarse desde tierra y tiene la función de ajustar la ganancia del transpondedor y proveer el necesario control para el Back Off de salida del TWT.

La relación de potencia de entrada y potencia de salida del satélite están referidas regularmente en términos de sus Back Off's, los cuales se refieren al nivel de saturación del amplificador. La figura 3.6 muestra la curva característica de la relación entrada salida del TWT de satélite.

Para encontrar la potencia de salida, primero se calcula el Back Off de la potencia de entrada de saturación, comparando con la densidad de flujo de la portadora de enlace de subida a la densidad de flujo de saturación (DFS) especificada para el satélite, dada como parte de las especificaciones del satélite, y la localidad de la estación terrena de transmisión.

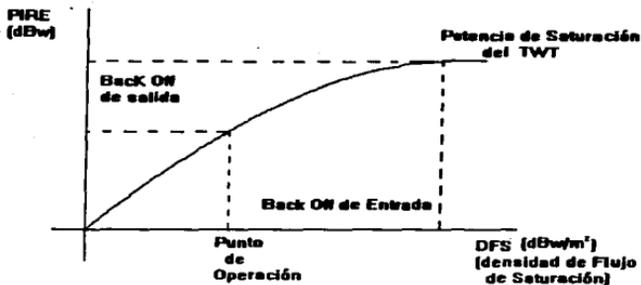


Figura 3.6 Curva de Transferencia de un TWT.

3.2.2 ECUACIÓN DE ENLACE DESCENDENTE

3.2.2.1 RELACIÓN PORTADORA A RUIDO DESCENDENTE

$$[C/No]_{DOWN} = PIRE_{SAT} - L_p - G/T_{SAT} - L_s - K$$

3.10

Donde

$PIRE_{SAT}$.- Potencia Isotrópica Radiada efectiva del Satélite

L_p .- Pérdidas por trayectoria en el espacio libre

L_s .- Otras pérdidas por Trayectoria

G/T_{SAT} .- Figura de Mérito del satélite

K .- Constante de Boltzman

3.3 ANÁLISIS DE PERDIDAS EN EL ENLACE

3.3.1 ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN

Este tipo de atenuación se presenta cuando el tamaño de la longitud de onda de la señal es comparativamente igual a la tamaño de las moléculas suspendidas en el aire. La atenuación por absorción se presenta únicamente a frecuencia superiores de 10 GHz., esto trae como consecuencia que la banda C de los sistemas de satélite no se ven afectados por este tipo de atenuación, los que si se ven afectados son los enlaces sobre banda Ku.

3.3.2 ATENUACIÓN POR LLUVIA Y GASES ATMOSFÉRICOS.

En la comunicación vía satélite la señal de RF durante su trayectoria sufren pérdidas de propagación en el espacio libre, las cuales dependen de la longitud de onda y la distancia, pero además son afectadas por la atmósfera baja y la ionosfera. A frecuencias menores de 1 GHz, el ruido cósmico y la atenuación ionosférica son los mas importantes que provocan problemas. A frecuencias mayores de los 10 GHz los factores que pueden llegar a ser más significativos en su atenuación son la lluvia y el ruido inducido por los gases atmosféricos.

En la atenuación por los gases atmosféricos las moléculas de oxígeno y agua que se encuentran en la atmósfera absorben parcialmente la señal transmitida durante su paso a través de la atmósfera. Esta atenuación puede ser calculada en base a los coeficientes de absorción de el oxígeno y del vapor de agua y se encuentra dada por la ecuación 3.11

$$A_{\text{atm}} = g_o L_o + g_v L_v \quad 3.11$$

Donde

g_o .- Coeficiente de absorción del oxígeno (dB/Km.)

g_a .- Coeficiente de absorción del agua (dB/Km.)

L_o .- Longitud efectiva del oxígeno 4 Km.

L_a .- Longitud efectiva del agua 2 Km.

Esta longitud efectiva de oxígeno y agua es una distancia de atmósfera hipotética de densidad constante, en la cual las ondas de radio se propagan con una atenuación idéntica a la atmósfera real, los valores son 4 Km. y 2 Km. respectivamente

La atenuación por lluvia se presenta cuando en su trayectoria de la onda electromagnética, esta pasa a través de las gotas de lluvia, en donde esta se absorbe y se dispersa, este efecto se presenta a longitudes de onda grandes (Frecuencias Altas), y aumenta mientras la frecuencia crece.

3.4 INTERFERENCIAS EN ENLACES DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE

En este tipo de comunicación existen varios tipos de interferencia que afectan a un enlace, para reducir la posibilidad de que afecten la calidad o en el peor de los casos perder el enlace, es importante considerarlas dentro del calculo y de esta forma dar un margen al enlace, manteniendo de esta forma la calidad de la comunicación, los mas comunes son los que se mencionan en el presente trabajo.

3.4.1 INTERFERENCIA ENTRE SATÉLITES ADYACENTES.

Debido a que la órbita geoestacionaria se encuentra cada vez mas congestionada de satélites, por lo que ha obligado a ubicarlos lo más cerca posible para aprovechar al máximo las posiciones orbitales.

Actualmente los satélites tienen una separación mínima de 2 grados, esta separación puede generar interferencia si no se efectúa una coordinación entre los países que operen los satélites vecinos.

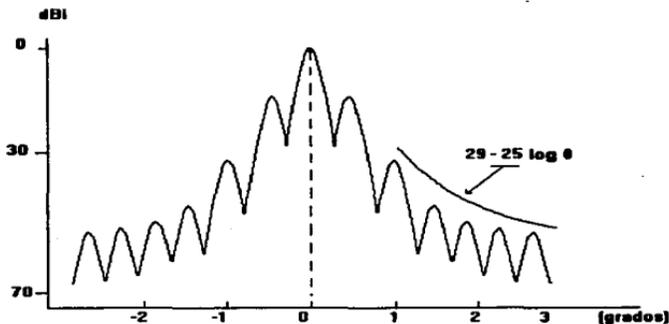


Figura 3.7 Patrón de Radiación de una Antena Parabólica.

Con el fin de reducir la interferencia entre satélites, los diseñadores de antenas para estaciones terrenas, deben apegarse a la recomendación 580 del CCIR (Comité Consultivo Internacional de la Radio), la cual establece como criterio de diseño, que toda antena que sea utilizada para comunicaciones vía satélite debe cumplir con la función logarítmica $29 - 25 \log \theta$.

La figura 3.7 representa el patrón de radiación de una antena parabólica, la cual cuenta con lóbulos laterales que no sobrepasan la envolvente $29-25 \log \theta$, (θ es el ángulo entre satélites desde un mismo punto de referencia en la estación terrena) ya que estos lóbulos laterales podrían interferir a otro satélite.

Para análisis de interferencia entre satélites se requiere considerar el plan de frecuencias de ambos satélites, esto es por si ambos satélites operasen dentro de la misma banda de frecuencias, además de los diámetros de la antena para estaciones terrenas, tráfico que se pretende asignar en cada uno de los satélites (si un satélite transmite TV el otro rango satélite deberá considerar muy seriamente si asigna datos dentro del mismo rango de frecuencias), y el nivel de potencia máximo (PIRE del satélite).

En base a estos datos el proveedor del satélite podrá proporcionar los valores de interferencia entre satélites. Este tipo de interferencia cuantifica cuanto podría incrementarse el nivel de ruido del canal de comunicación, enlace subida y bajada, debido al tráfico del satélite interferente.

3.4.2 INTERFERENCIA ENTRE LOS CANALES DE RADIO FRECUENCIA ADYACENTES

En una estación terrena el dispositivo amplificador algunas veces es empleado a niveles superiores de su rango lineal (Back Off), y esto ocasiona que se presenten en la transmisión productos de intermodulación que afectaran a las demás señales que estén operando cerca de la señal intermodulada. A este tipo de afectación se le conoce como interferencia entre canales adyacentes, este problema existe en la técnica de acceso FDMA, la cual se desarrollará posteriormente.

CAPITULO IV

TÉCNICAS DE ACCESO

Varias son las formas en que las estaciones terrenas se comuniquen entre si mediante un satélite, dado que son una gran cantidad de ellas que lo comparten, las técnicas mas empleadas son FDMA (Frecuency Division Múltiple Access), TDMA (Time Division Múltiple Access) y CDMA (Code Division Múltiple Access).

Estas son las analogías de los esquemas de comunicación que se utilizan en sistemas terrestres multicanal, analógicos y digitales.

Las técnicas de acceso múltiple son utilizadas para que un gran numero de estaciones terrenas puedan acceder a un satélite de manera simultánea aprovechando al máximo las características de potencia y ancho de banda de un transpondedor, permitiendo que una o varias estaciones que se encuentran dentro de la zona de cobertura puedan recibir las señales.

El problema mas frecuente al utilizar técnicas de acceso múltiple, es el de seleccionar la técnica mas adecuada en base a la información que se transmitirá de un punto a otro, ya sea voz, datos ,video o las tres señales multiplexadas sobre el mismo transponder.

4.1 FDMA ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA.

Cuando varias estaciones terrenas accedan a un transponder utilizando cada una de ellas frecuencias diferentes F_1 , F_2 , F_3 , como se muestra en la figura 4.1 se esta hablando de un sistema FDMA. En este sistema cada señal es asignada una separación de frecuencia y una frecuencia diferente a cada portadora y con cierto ancho de banda de la banda de guarda para evitar interferencias.

El tamaño de estas bandas de guarda debe considerar las imperfecciones de filtros empleados en los transmisores así como los corrimientos de frecuencia de los osciladores que controlan la operación de, los convertidores de frecuencia empleados. A continuación se describen los dos tipos genéricos de sistemas FDMA:

El primero acomoda múltiples canales por portadora (MCPC), y el segundo emplea un solo canal por portadora (SCPC). En cada uno de los dos casos los sistemas FDMA se describen ambas técnicas para transmisión analógica y digital.

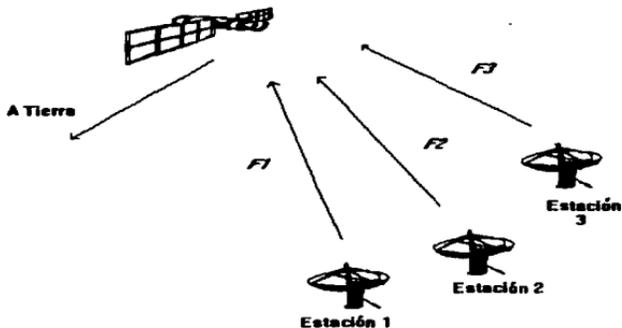


Figura 4.1 Un Sistema FDMA.

En FDMA la capacidad de ancho de banda de un transpondedor se divide en las siguientes tipos de bandas:

- 1.-Se pueden tener pocas bandas (hasta una portadora por transponder de 36 MHz), de gran capacidad donde cada banda puede manejar un nivel jerárquico del multiplexaje por división de tiempo con modulación digital (TDM - PSK).

- 2.- Se puede tener muchas bandas (con portadoras con un solo canal de voz) cada una de las cuales puede manejar un canal analógico o digital. este tipo de esquemas se conoce como canal único por portadora (SCPC)
- 3.- Se puede tener una mezcla de las dos categorías anteriores.

4.1.1 SSB - FDM - FM - FDMA

La primera técnica de acceso múltiple que fue empleada en un satélite de comunicaciones, fue el sistema analógico MCPC. Este fue diseñado para transmisión analógica en sus inicios el desarrollo de jerarquías para el multiplexaje FDM. La figura 4.2 muestra una implementación típica de este sistema .

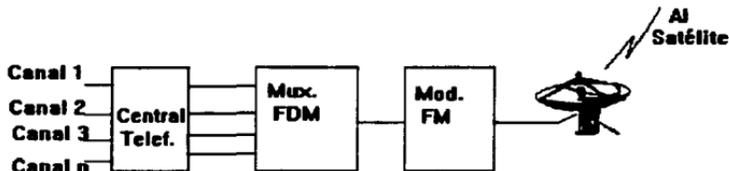


Figura 4.2 Un Sistema FDM - FM - FDMA

Canales individuales de voz son modulados en su principio en SSB (Banda Lateral Única) para configurar un multiplexaje por división de frecuencia FDM. (véase la formación de un pregrupo en la figura 2.27). Los canales de voz de los sistemas de telefonía terrestre

están enlazados al satélite y la estación terrena con equipo de multiplexaje FDM el cual usa una señal de banda base en correlación conjunta con el plan de frecuencia asignado.

En cada estación, una banda base es modulada en frecuencia con portadoras preasignadas y transmitidas directamente al satélite ocupando una porción del ancho de banda del transponder. La estación demodula cada portadora recibida, usando equipos de multiplexaje FDM, y elimina canales asignados a otra estación. En la figura 4.3 un usuario localizado en el área de servicio de la estación terrena A se le asigna la ranura de frecuencia apropiada de FDM. Ya que el usuario localizado en A esta intentando extenderse a la estación terrena E, su información será asignada a la banda base del grupo E determinada por el equipo de multiplexaje, si otros usuarios intentan establecer un enlace a otras localidades que están asignadas a grupos apropiados dentro del supergrupo de 60 canales de banda base.

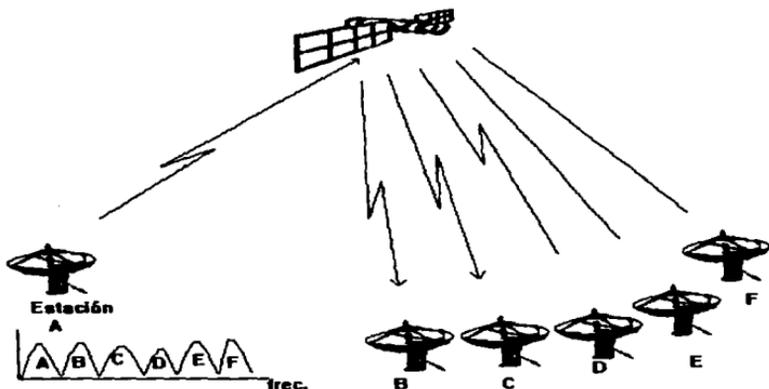


Figura 4.3 Enlace FDM - FDMA

La señal de banda base compuesta es una portadora modulada en frecuencia y transmitida a través del transponder a todas las otras estaciones de la red. En la estación E demodularán después solo los 12 canales del grupo E extraídos de la banda base, demultiplexados y entonces los canales de voz se conectarán con el sistema de telefonía local.

Este método fue por muchos años suministro de excelente calidad y servicio de telefonía, pero con la tendencia a ser inflexible en la distribución y adaptación de la demanda de tráfico.

También este sistema se encuentra sujeto a utilizar múltiples portadoras, es un sistema sujeto a limitación causada por la operación de la no linealidad del transponder.

Al haber varias portadoras presentes en el mismo transponder de un satélite, y debido a la característica no lineal del amplificador de tubo de ondas progresivas (TWT), es necesario operar este último con varios dB's abajo de su punto de saturación o nivel máximo de potencia de salida. Esto es denominado Back Off de salida (como se menciona anteriormente). Por ejemplo los satélites Morelos operan con un Back Off de salida de 4.5 dB en la banda Ku y 5.8 dB en la banda C.

En un TWT que trabaje con una sola portadora o con múltiples portadoras el punto de saturación, así como los Back Off's son los niveles de potencia no aprovechables, y son calculados con el fin de trabajar siempre dentro de la región lineal y evitar así los productos de intermodulación.

Si el amplificador se opera en una región altamente no lineales producirán niveles muy altos de productos de intermodulación que afectan significativamente la calidad de las señales amplificadas, esto se puede observar en la figura 4.4 el cual muestra el espectro de frecuencia de entrada al transponder y el de salida.

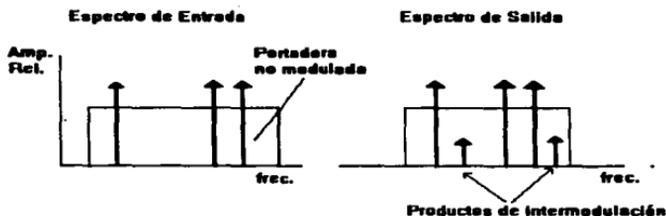


Figura 4.4 Productos de Intermodulación en un Transponder.

En los sistemas FDMA la capacidad de un transponder varía de acuerdo al número de portadoras, lo cual está íntimamente ligado al número de estaciones que acceden al transponder.

La tabla 4.1 muestra la variación del número de canales para un número diferente de portadoras. En esta tabla se observa que la capacidad más alta ocurre cuando se tiene presente solamente una portadora en el satélite y disminuye a medida que las portadoras aumentan en el transponder.

Número de Portadoras	Ancho de Banda por Portadora (MHz)	Número de Canales por Portadora	Número de Canales en el Transponder
1	36	900	900
4	3 de 18 ó 1 de 5	132 ó 60	456
7	5	60	420
14	2.5	24	336

Tabla 1.1 Número de Canales de un Transponder en Función del Número de Portadoras

Los transponders de 36 MHz, normalmente se opera con portadora de 2.5, 5 ó 10 MHz para este tipo de sistemas. También se tiene el caso que se emplee todo el transponder por una sola portadora para telefonía (Este es el caso de acceso único y no múltiple).

En el caso de TV, se puede tener una portadora con 36 MHz en acceso único o también, dos canales de TV de 18 MHz en el mismo transpondedor, el caso de los sistemas Morelos emplean estos dos tipos de canales, ya sea de 18 ó 36 MHz para el envío de TV:

4.1.2 PCM - TDM - PSK - FDMA

Es otro de los sistemas de Múltiples Canales Por Portadora (MCPC) empleado en la comunicación de satélites comerciales. MCPC digital, es usado para la transmisión de señales digitales, ya sea telefonía digital, datos ó video digitalizado.

La información de banda base digitalizada para cada portadora típicamente consiste de múltiples canales de flujo de bits PCM - TDM. En Norte América esas señales son construidas usando jerarquía llamada *portadora T* (Jerarquía ATT) En el oeste de Europa la jerarquía CCITT es empleada. Este primer nivel de jerarquía en América del Norte ensambla 24 canales telefónicos de 64 Kb/seg. a una velocidad de salida de el primer multicanalizador de 1.544 Mbits/seg. Esta jerarquía se puede observar en la figura 2.28.

Este primer nivel en Europa combina 32 canales de 64 Kbits/seg., resultando una velocidad de salida del primer multicanalizador de 2.048 Mbits/seg..Esas señales multiplexadas son moduladas en portadoras digitales, típicamente se emplean sistemas de dos fases PSK (BPSK) o sistemas de cuatro fases (QPSK). Los requerimientos de operación son similares a los usados en transmisión analógica FDM - FM, no requiriendo un reloj para sincronización, solo la simple coordinación de la frecuencia del sistema típico FDMA.

El uso del sistema PCM - TDM permite usar el potencial en el proceso de conferencia digital a condición de que un significativo incremento de la capacidad del canal de voz para tomar ventaja de multicanales silenciosos de telefonía usando técnicas de interpolación de conferencia.

La codificación digital de banda base de canales individuales puede ser usada en técnicas severas. Aunque en los últimos días la tendencia es utilizar el sistema digital PCM, este sistema comienza a ser desplazado por una técnica que desciende del sistema PCM, este es denominado Adaptivo Diferencial PCM (ADPCM), el cual reduce el código estándar de voz a una proporción de 64 Kbits/seg. a 32 Kbits/seg. sin una significativa reducción de calidad, la exacta configuración empleada depende de los requerimientos del tráfico.

4.1.3 CANAL ÚNICO POR PORTADORA (SCPC)

Este tipo de sistema la portadora es generalmente activada por voz, cada canal telefónico se modula independientemente por separado en una señal de RF y la envía al satélite en el sistema FDMA. Esta técnica SCPC tiene gran aplicación cuando se desea interconectar un gran número de estaciones terrenas de muy baja capacidad o demanda de tráfico y consiste en que cada canal se le asigna una portadora, misma que es modulada en FM o PSK .

Dado que en telefonía las llamadas son aleatorias, el espectro del transpondedor se puede aprovechar eficientemente si las frecuencias portadoras de RF se asignan temporalmente a las estaciones terrenas, es decir, únicamente mientras tengan información que enviar.

Cuando una estación A termina de transmitir su información, la frecuencia portadora que se le había asignado pasa a un banco de frecuencias controlado por una computadora central. Si otra estación B desea entonces establecer un enlace, la computadora central le asignara una de las frecuencias disponibles en el banco y quizá se le otorgue la misma frecuencia que antes había utilizado la estación A

En el sistema SCPC para establecer conversación entre dos localidades, un par de frecuencias del canal son seleccionadas, una para cada dirección de la transmisión: En el lado del receptor, la unidad del canal asociado con cada portadora de RF contiene todo el equipo requerido para modular la portadora de RF y entregar cada señal de banda de voz o señales de datos digitales para el enlace terrestre final.

La frecuencia portadora en el transponder del satélite puede ser preasignada para unidades de canales individuales, y usados exclusivamente por esas unidades de canal o ellas pueden ser asignadas por demanda.. Como el sistema funciona con base a este banco de frecuencias y el criterio es dar servicio a quien pida primero, la técnica recibe el nombre de DAMA (Demand Assignment Multiple Access ó Acceso Multiple por Asignación de Demanda). Cuando los canales de voz están codificados en PCM, la técnica se conoce como SPADE (Single Channel Per Carrier PCM Multiple Access Demand Assignment Equipment Equipo de Asignacion de Demanda en Acceso Múltiple por Canal PCM Único por Portadora)

En asignación por demanda, ninguno de los canales finales esta permanentemente asociado con una frecuencia de portadora en particular, y los canales están asociados a una conexión de demanda básica como la requerida. Cada una de las frecuencias portadoras dentro del ancho de banda del transponder llega a ser parte de un conjunto de frecuencias disponibles que pueden ser asignadas a una unidad de canal. El primer sistema completo de SCPC es el llamado SPADE.

Una característica importante de el sistema SCPC es la habilidad para emplear portadoras activadas por voz, esto significa que las portadoras de RF están activadas, es decir consumen potencia solamente la conversación.

En una conversación telefónica normal un orador esta hablando cuando el otro esta escuchando, el titubeo normal y el silencio de puntuación crea una condición de silencio que ha sido estudiada intensivamente .

Esto ha sido determinante para el promedio simple de conferencias activadas por voz y consumir solo el 40 % del tiempo total del canal disponible, por lo tanto para encender y apagar las portadoras individuales durante los intervalos de silencio en el sistema SCPC puede ahorrar aproximadamente 4 dB de la potencia del satélite, y así poder acomodar una proporción grande de portadoras en un solo transponder.

Un ejemplo a considerar es que un canal de 36 MHz soporta 800 canales SCPC utilizando un espacio de canal de 45 KHz, y suponiendo un nivel de actividad en el canal de 0.38 durante condiciones de carga total con 400 conversaciones, la probabilidad de que mas de 320 de esos canales contengan actividad simultánea de habla es menor que 0.1, todo esto trae como consecuencia un ahorro de 4 dB. Habrá que notar que la probabilidad es menor

que 0.1, que son mas de 320 líneas que serán activadas, regularmente cuando todos los canales están en uso (horas pico)

La transmisión analógica puede también ser acomodada en una implementación SCPC. El sistema básico analógico es muy semejante al caso digital SCPC sin embargo en lugar de emplear modulación digital BPSK o QPSK, este emplea FM, este sistema es denominado SCPC - FM - FDMA.

De el lado de el transmisor la señal de banda base de voz esta provista de un circuito de entrada el cual limita los picos de la señal de FM, este es seguido por un filtro para limitar el ancho de banda de la señal de banda base.

Es empleado un detector analógico de conversación para suministrar la operación de la portadora activada por voz, esto es similar al caso digital , posterior a esto es enviada hacia el satélite.

4.2 TDMA ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO

Anteriormente se menciona que el transponder tiene una característica no lineal, esto forzaba a que el transponder operase a unos cuantos dB's debajo de el nivel de saturación, esto es con el fin de que los productos de intermodulacion generadas dentro del mismo transponder no fuesen tan elevados.

El concepto básico del sistema TDMA consiste en usar una sola portadora que ocupe todo el transponder. Esto permite operar el satélite a su máxima potencia, es decir en saturación, aun cuando opere en su región no lineal, se tiene en tierra la ventaja que las estaciones operen también en saturación al transmitir. El sistema TDMA permite operar el amplificador de potencia de salida en saturación, resultando un incremento significativo en la potencia de salida. Las degradaciones debidas a productos de intermodulacion son omitidas

si se emplean tiempos de guarda suficientes que compensan inexactitudes de la temporización del sistema, típicamente estos tiempos de guarda consumen del 10 % de la potencia y el transponder es utilizado como consecuencia a niveles superiores del 90 % de eficiencia.

Cada una de las señales de entrada TDMA tiene señales que son direccionadas a diferentes estaciones utilizando porciones separadas de una estructura denominada *Ráfaga* TDMA que sigue a la ráfaga de un preámbulo.

En un sistema TDMA cada estación transmisora participante envía uno o más Bursts (Ráfagas) de tráfico sincronizados de tal manera que ocupan todo el transponder en un instante de tiempo.

4.2.1 ARQUITECTURA BÁSICA DEL TDMA

El concepto básico es mostrado en la figura 4.5, varias estaciones de la red usan una sola portadora, la cual es compartida en tiempo para dejar a cada estación transmitir su información utilizando modulación digital, usando ráfagas sincronizadas. Esto es, una estación recibirá información en una fuente continua, comprimida en pequeños intervalos de tiempo, y la transmitirá dentro de una ráfaga de alta velocidad en un tiempo correcto para que las ráfagas de todas las estaciones lleguen al satélite en intervalos secuencialmente sin interferencia de ráfaga. Todas las ráfagas recibidas de todas las estaciones son retransmitidas de el satélite a todas las estaciones . La sincronización se realiza por una estación de referencia definida cuyo tiempo de información y posición de ráfaga son usados como una referencia por las otras estaciones de la red en sus tiempos de transmisión.

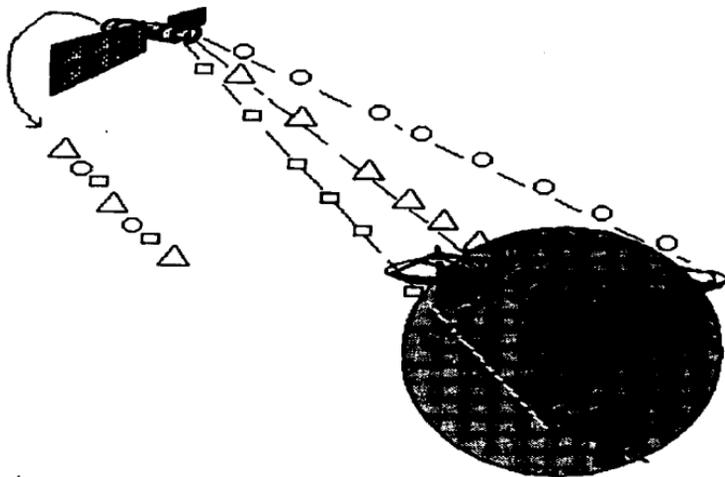


Figura 4.5 El Sistema TDMA.

El tráfico de ráfagas del sistema TDMA es organizado en un cuadro como es mostrado en la figura 4.6. El cuadro comienza en este caso con un Burst de referencia RB_1 , este puede ser seguido por un segundo Burst de referencia para mayor confiabilidad

La posición y duración del Burst es asignado acorde al protocolo establecido para la red de operación. La duración del cuadro TDMA es tan corto como $125\mu\text{seg}$ y extenderse a mas de 25 mseg. , para sistemas que usan protocolos de asignación de demanda.

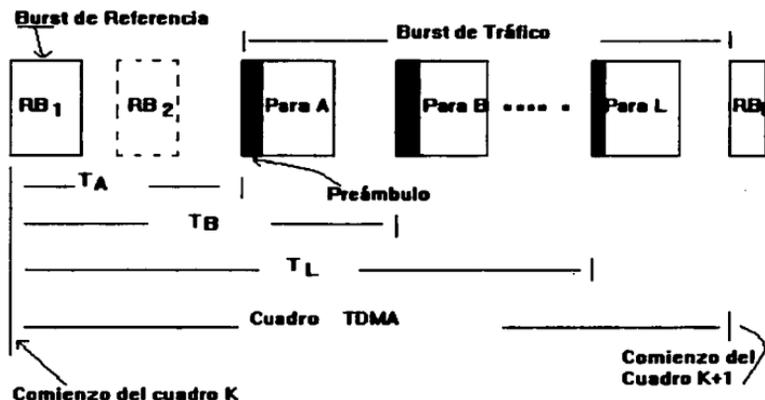


Figura 4.6 Organización de un cuadro TDMA.

Se usa una trama organizada para el control del interlazo de las ráfagas para las múltiples estaciones terrenas en el sistema TDMA. Una trama usualmente empieza con una ráfaga de referencia transmitida por una estación de referencia primaria, y una estación de referencia secundaria usada como respaldo (Back Up). A las dos ráfagas de referencia les siguen ráfagas de información transmitidas secuencialmente desde cada estación de la red.

La trama termina cuando la transmisión de la última estación es completada. Una nueva trama comienza con la transmisión de la ráfaga de referencia seguida por el tráfico de cada estación.

El intervalo de tiempo de la trama T_T es de unos cuantos milisegundos. La estructura de una ráfaga TDMA suministra una idea de como funciona el sistema, por ejemplo, como

se muestra en la figura 4.7, cada ráfaga contiene información de control y tráfico. La porción de control de la ráfaga es usualmente referido como el preámbulo. Una ráfaga de referencia consiste solo del preámbulo. En esta figura 176 símbolos los cuales corresponden a 352 bits en un sistema QPSK, son usados para recuperar la portadora y el bit de tiempo del reloj. La siguiente porción del preámbulo es una secuencia de 48 bits, que constituyen la *Unique Word* (palabra única) escogida por las propiedades de correlación.

Esta palabra única es esencialmente una palabra de sincronización de la trama, esta tiene una alta probabilidad de correcta detección y una baja probabilidad de baja de falsa detección. Tan pronto como el sistema reconoce esta palabra única, se actualiza el contador de tiempo para el comienzo de la trama y su posición en la misma. El siguiente elemento del preámbulo contiene información orientada al servicio dentro del cual esta insertado un bit de referencia para el uso de la realización del análisis de error cuando el sistema esta en servicio.

Un canal digital de voz esta también provisto en esta porción del preámbulo. Un canal de control de información, llamado canal de control y retardo, esta también insertado dentro de la ráfaga de referencia para usarse por la estación de monitoreo para otras estaciones de la red. Una ráfaga de transporte de tráfico usa la misma información del preámbulo, como una ráfaga de referencia, con excepción del canal de control y retardo.

Los sistemas TDMA, en la terminal deberán de decodificar las señales correspondientes, además de demultiplexar la información, para esto es mostrado en la figura 4.8, es mostrado un diagrama a bloques de una terminal TDMA, en ella existen interfaces para varios tipos de señales, señales típicas de información incluyendo voz, datos, imágenes en forma de fax, y video digitalizado a través de videoconferencias, una interface específica esta provista para cada tipo de señal.

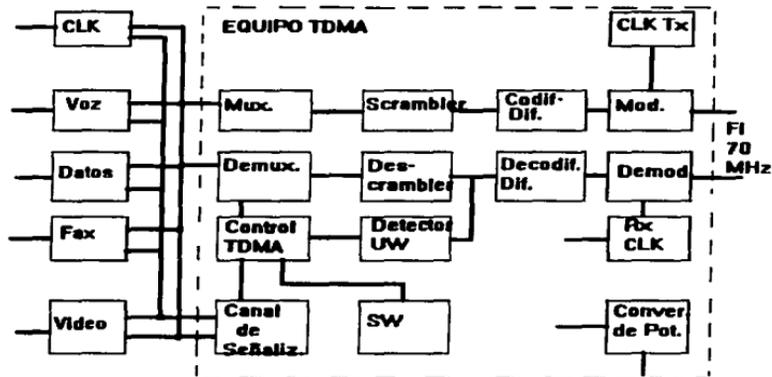


Figura 4.8 Diagrama de una Terminal TDMA.

Las señales de entrada. La función de la interface es de codificar las señales en TDM. Por cada uno de los módulos de interface, una función de compresión y expansión de datos debe estar siempre para crear subráfagas en el lado transmisor, y para convertir dentro de estas subráfagas el flujo de datos en el lado del receptor.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

4.2.2 SINCRONIZACIÓN

Uno de los problemas principales en el diseño de un sistema TDMA es la sincronización de la ráfaga para múltiples usuarios en una red TDMA, dentro de una trama organizada donde la ráfaga esta cuidadosamente conformada en la trama para que no exista colisión. Existen dos pasos en la sincronización, el primero es la adquisición de fase, el cual se refiere a el proceso por el cual una estación terrena TDMA entra a la red. El segundo es la sincronización de fase , el cual ocurre después de que el usuario a entrado a la trama TDMA y puede mantener la posición precisa de la ráfaga dentro de la trama durante la operación.

Mientras el sistema opera dentro de un solo transponder y la misma antena difusora, el problema de sincronización de la red es simplificado por cada usuario al habilitarse para recibir la ráfaga todos los usuarios en la red. Mediante un lazo de reglamentación que puede ser establecido directamente al satélite para cada usuario individual, empleando ráfagas recibidas desde todas las estaciones en la red.

Durante el inicio y la fase de adquisición, la ráfaga de referencia es la primera en ser transmitida. Cada ráfaga adicional de las demás estaciones entran al sistema en sincronía con la ráfaga de referencia para establecer un tiempo de referencia local. El paso siguiente es transmitir el preámbulo, siguiendo la recepción de la ráfaga de referencia.

Existe otro método para determinar el valor inicial del tiempo de retardo, este método es establecido por medio de una computadora, esto es mediante un conocimiento previo de la localización exacta de la estación terrena y su distancia con respecto al satélite, en este sistema es medido el error entre la localización actual de la ráfaga y la posición deseada y redefine el tiempo de retardo estimado de las tramas subsiguientes.

Otro método es donde se emplean la información de la posición del satélite y las variaciones en tiempo real, las cuales son comunicadas a las estaciones, intentando procesos

de adquisición y sincronización a través de canales de control y retardo de la ráfaga de referencia. Este método es muy complicado porque el usuario de la red TDMA puede ver solo un número pequeño del total de las ráfagas en la trama TDMA.

4.2.3 BURST DE REFERENCIA

Los Burst de referencia son emitidos por una estación de referencia y, como indicación previa, constituye la base de sincronización de todas las otras estaciones en la red. Este Burst contiene información necesaria para las otras estaciones para derivar la localización precisa de sus ráfagas en el cuadro principal TDMA.

Estos están respaldados usualmente por otra ráfaga RB₂, estos Burst de referencia consisten básicamente en tres partes, primeramente por un CCR (Carrier and Clock Recovery Recuperación de Portadora y Reloj), la cual tiene el propósito de cerrar o amarrar una estación receptora a la frecuencia de la portadora, y el Bit Timing (bit de sincronía) a el Burst.

La secuencia CCR usualmente consiste de un segmento inicial de portadora no modulada, seguida por alteraciones de fase de la portadora entre 0° y 180° a la velocidad de los símbolos del reloj (CLK). Las consideraciones de diseño del sistema determina la longitud de secuencia de CCR. Si se espera que la relación recibida de portadora a ruido es relativamente alta y el rango de la frecuencia portadora obtenida es pequeña, entonces el segmento de longitud CCR puede ser corto. Típicamente se usan 30 símbolos para una portadora modulada en QPSK.

Sin embargo si la relación portadora a ruido para esa frecuencia obtenida es baja, puede darse el caso de desvanecimiento de la señal de RF, entonces el CBR puede ser grande, como por ejemplo 300 símbolos. A la secuencia CBR es seguida por el de Palabra Única (UW Unique Word), esta es una secuencia de unos y ceros en las I y Q fases de la portadora seleccionada para exhibir buenas propiedades de correlación.

La longitud de UW varia y puede ser corta como 10 símbolos QPSK o grande como 24. En el receptor, la UW es alimentada a un correlador UW. La salida de este correlador es siempre usada de referencia de el tiempo de ocurrencia de una ráfaga, también constituye el tiempo de referencia para el demultiplexaje de los canales de portadora en la porción de trafico de datos en el Burst, este tipo de correlador UW puede tolerar dos tipos de errores uno es omisión o perdida y falsa alarma.

Diferentes UW pueden ser usados para distinguir entre las dos ráfagas de trafico . Otro uso importante de los UW es la resolución en las ambigüedades de fase de la portadora recuperada cuando es empleada la modulación QPSK.

4.2.4 TIEMPO DE GUARDA

Un pequeño tiempo de guarda s requerido entre las ráfagas originadas en las estaciones que se accesan a un transponder, para asegurara que estas señales no se traslapen a su llegada al mismo. El tiempo de guarda puede ser bastante amplio para permitir tiempos de transmisión y un amplio rango de variación. El tiempo de guarda es normalmente igual al intervalo de tiempo usado para la detección del pulso que marca el inicio de una trama de recepción en una estación. Por lo tanto no se transmite información durante el tiempo de guarda

En la trama TDMA su longitud o ancho es normalmente seleccionado por una rango de 0.75 a 20 mseg. , para señales telefónicas digitales, este es usualmente un múltiplo de 0.125 mseg., el cual es el periodo de muestreo de un sistema PCM convencional a una F_s de 8000 Hz . El ancho de la trama es elegido en un principio y permanece constante en un sistema TDMA. De cualquier forma , en el evento de un nuevo servicio requiere de un cambio de el ancho de la trama , esto puede ser alterado para redefinir el numero de bits por trama y almacenar este conteo en la memoria de la red.

4.2.5 SEÑALIZACIÓN

En general, la estructura y señalización de las ráfaga de referencia es como se muestra en la figura 4.9



Figura 4.9 Señalización en la Ráfaga de Referencia

Se tiene en primer termino un canal de hilo de orden el cual porta voz digitalizada y datos de teletipo, a través del cual las instrucciones son pasadas entre las estaciones.

El canal de administración el cual es enviado por la estación de referencia hacia todas las estaciones de tráfico portando instrucciones de administración de la trama como son los cambios de plan de tiempo de ráfaga, este plan describe la coordinación de tráfico entre estaciones, esto a la vez define el límite de tiempo de las ranuras en la trama, o sea la posición de la ráfaga asignada a la estación. También identifica la posición, longitud y estación fuente o destino correspondiente para las sub-ráfagas.

Este canal maneja el monitoreo y control hacia las estaciones de tráfico cuando la estación de referencia desee obtener un reporte del estado y/o control del cambio de subsistemas en el tráfico de estaciones remotas.

El canal de temporización de transmisión lleva información de adquisición y sincronización a las estaciones de tráfico habilitándolas para ajustar el tiempo de transmisión de ráfaga de tal manera que las ráfagas transmitidas se accesen al transponder del satélite en

la ranura de tiempo correcta dentro de la trama TDMA. También lleva el código de estado el cual permite a la estación de tráfico identificar las ráfagas de referencia (RB_1 y RB_2).

Por otra parte el canal de señalización de la ráfaga de tráfico (este se muestra en la figura 4.10), consiste en las siguientes subráfagas.

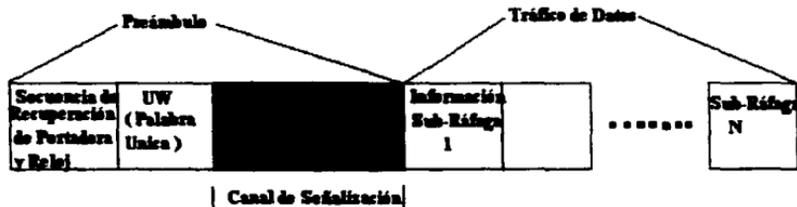


Figura 4.10 Canal de Señalización en la Ráfaga de Tráfico

El canal de hilo de orden realiza las mismas funciones que en la ráfaga de referencia. El canal de servicio reporta el estado de las estaciones de tráfico a la estación de referencia. Además ambas subráfagas (Referencia y Tráfico) pueden llevar subráfagas adicionales, conteniendo el numero de identificación de estación y el tipo de ráfaga transmitida, diferentes tipos de UW pueden emplearse para proporcionar la identificación de ráfaga.

4.3 CDMA ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO

Con FDMA, las estaciones terrenas se limitan a un ancho de banda específico dentro de un canal de satélite o sistema, pero no tienen restricción en relación a cuando pueden transmitir. En TDMA, las transmisiones de las estaciones terrenas están restringidas a una ranura de tiempo preciso, pero no tienen restricción en relación a que frecuencia o ancho de banda pueden utilizar dentro de un sistema satelital específico o asignación de canal. Con CDMA, no existen restricciones de tiempo o ancho de banda. Cada transmisor de estación terrena puede transmitir, cada vez lo que desea, y puede utilizar cualquier ancho de banda o todos los anchos de banda asignados a un sistema o canal de satélite en particular.

Debido a que no hay limitaciones en el ancho de banda, al CDMA a veces se le conoce como *Acceso Múltiple del Espectro Disperso*, las transmisiones se pueden extender por todo el ancho de banda designado.

Las transmisiones son separadas por medio de técnicas de encriptación o deencriptación de cubiertas. O sea, que las transmisiones son separadas de cada estación terrena se codifican con una palabra única binaria llamada código. Cada estación tiene un código único específico. Para recibir la transmisión de una estación terrena en particular, una estación receptora tiene que saber el código para cada estación.

El CDMA es una técnica de acceso múltiple, que se puede considerar como una combinación de FDMA y TDMA. El CDMA utiliza la técnica Spread Spectrum (SS) por tal motivo la técnica CDMA también es conocida como SSMA (Spread Spectrum Multiple Access).

El Spread Spectrum consiste en la combinación de dos señales, donde una de ellas ocupa un mayor ancho de banda que el mínimo ancho de banda requerido para transmitir la información.

Se dice que la señal trabaja en Spread Spectrum si cumple con los siguientes requerimientos:

- 1.- La señal ocupa un ancho de banda mayor que el mínimo ancho de banda necesario para enviar la información.
- 2.- El ensanchamiento es logrado por medio de una señal ensanchada, además de una señal de código, la cual es independiente de los datos.
- 3.- En el receptor, la compresión (recuperación de los datos originales) es lograda por la correlación de la señal expandida recibida con una replica sincronizada de la señal expandida que fue usada para ensanchar la información.

El sistema CDMA puede incorporar fácilmente nuevos usuarios, en realidad no se necesita ningún control de asignación de canales y aumentar la carga del transpondedor, solo se produce una degradación en la calidad de la señal de transmisión.

El CDMA proporciona automáticamente protección a las comunicaciones, gracias a la codificación utilizada, además, las señales están protegidas contra las fuentes de interferencia de banda estrecha. Existen diversas técnicas CDMA, pero las dos mas ampliamente utilizadas son:

- Secuencia Directa (Direct Sequence DS)
- Salto de Frecuencia (Frequency Hopped FH)

4.3.1 CDMA - DS

En la técnica de secuencia directa DS se genera una secuencia binaria pseudoaleatoria, la estación genera continuamente ciclos a través de su secuencia de dirección, la cual es añadida en la portadora, junto con los datos. La dirección superpuesta

en la moduladora del enlace descendente, produce un ancho de banda mayor que el generado por una sola modulación

La señal desensanchada, que sigue siendo una señal modulada, se recupera utilizando demodulación coherente, así pues, el sistema de espectro ensanchado utiliza como señal de transmisión una portadora modulada por una secuencia pseudoaleatoria de bits característica de la estación. El grado de interferencia entre dos señales recibidas depende de la correlación entre las secuencias pseudoaleatorias respectivas, por lo tanto, en este caso es necesario tratar de generar conjuntos de secuencias con la correlación mas baja posible, a fin de poder admitir el mayor numero posible de usuario, esto puede observarse en la figura 4.11, que ejemplifica un sistema CDMA - DS

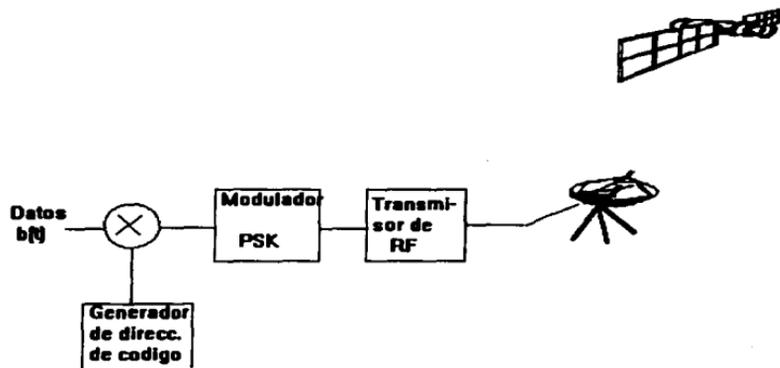


Figura 4.11 Sistema CDMA DS

En el receptor (véase figura 4.12), la señal de RF es demodulada de forma coherente y correlacionando la señal recibida con una réplica sincronizada a través de el generador de código. Además el código transmitido se adquiere y se utiliza para sincronizar el generador de códigos de la misma estación receptora, ambos códigos (el transmitido y el generado) deberán de estar sincronizados; El código recuperado multiplica a la portadora PSK recuperada y genera una señal modulada PSK que contiene a la portadora PSK, mas el código, y la información de los datos se compara con la señal de FI recibida en el correlacionador, cuya función es comparar las dos señales y recuperar los datos originales. Esencialmente el correlacionador resta la portadora recuperada más el código de la portadora PSK recibida más el código de los datos y los datos mismos, esto da como resultado los datos mismos.

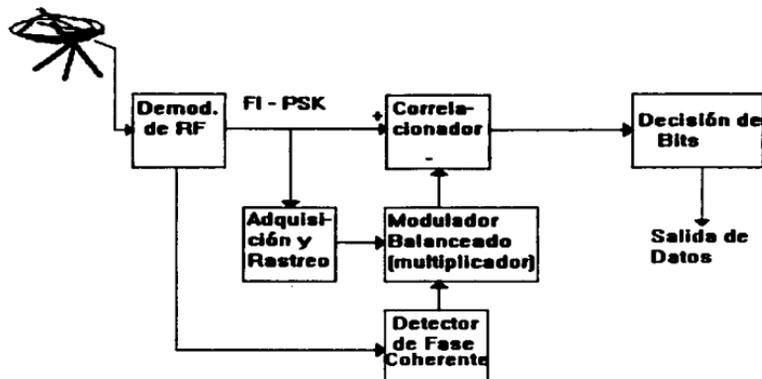


Figura 4.12 Receptor CDMA - DS

4.3.2 CDMA FH

El sistema de saltos de frecuencia FH cada estación emite una secuencia de impulsos a frecuencias diferentes que abarcan una gran ancho de banda, utilizando un proceso pseudoaleatorio que es específico de cada estación transmisora, el receptor correspondiente debe efectuar los mismos saltos de frecuencia que el transmisor a fin de captar la información deseada. Así los sistemas FH el código binario conmuta un sintetizador de frecuencias, la configuración de saltos esta determinada por el código. Las técnicas FH no requieren una alta velocidad de segmentos para producir un ancho de banda muy grande, típicamente las velocidades de los segmentos son mucho mayores en DS que en FH.

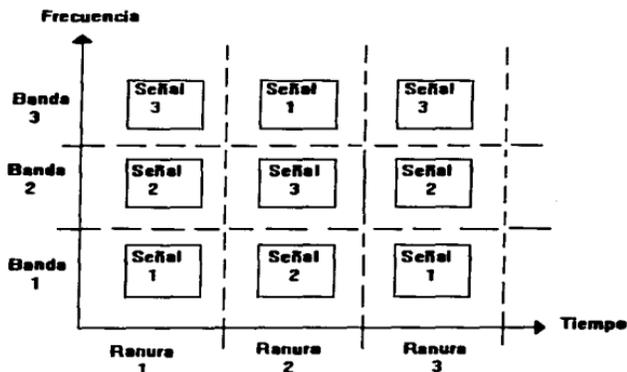


Figura 4.13 CDMA - FH

Esta técnica es ilustrada en la figura 4.13 . Durante el bloque de tiempo 1 la señal 1 ocupa la banda 1, la señal 2 ocupa la banda 2 y la señal 3 ocupa la banda 3. Durante el bloque de tiempo el bloque 2, la señal 1 salta a la banda 3, la señal 2 salta a la banda, la señal 3 salta a la banda 2 y así sucesivamente

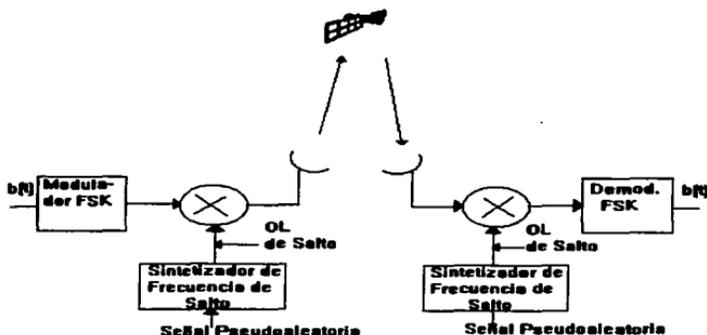


Figura 4.14 Sistema CDMA FH, Transmisor y Receptor

Para lograr lo anterior se utiliza un código pseudoaleatorio, el cual dicta la banda de frecuencia de asignación de salto. El sistema CDMA - FH se logra a través de dos pasos de modulación, modulación de datos y modulación de salto de frecuencia(FH), el modulador FH produce un tono de transmisión basado en el dictamen simultáneo del código pseudoaleatorio y el dato.

El receptor del sistema CDMA - FH se puede observar en la figura 4.14, en esta figura se tiene después de la entrada de datos un modulador FSK y un demodulador respectivo en la recepción, el sintetizador de frecuencia de salto se emplea para "brincar" en la frecuencia a la señal transmitida.

La técnica CDMA tiene las siguientes características:

- 1.- Es poco susceptible al ruido, las portadoras SSMA operan a nivel de ruido, estas pueden confundirse con el ruido en el transponder.
- 2.- Se tiene privacidad, la señal SSMA es muy difícil que pueda ser demodulada si no se tiene el código respectivo.
- 3.- Se tiene flexibilidad, esta es la mas importante ventaja de CDMA, en comparación con las otras técnicas.

Esta técnica se emplea en sistemas móviles donde se requieran datos de baja velocidad (bits/seg) y alta seguridad.

CAPITULO V

RUIDO EN SISTEMAS SATELITALES

5.1 RUIDO DE INTERMODULACION

En el sistema FDMA, anteriormente se comento que cuando se envían múltiples portadoras por el transponder del satélite, se presentan los denominados productos de intermodulación, estas componentes son presentadas como ruido dentro del sistema de recepción de la estación terrena, por esta situación, deberá de reducirse los niveles de la portadora en el sistema FDMA para disminuir este ruido de intermodulación.

5.2 RUIDO EN MODULACIÓN DIGITAL

La relación de E_b/N_0 es un parámetro usado frecuentemente en los sistemas de comunicación digital. Esta razón permite comparar sistemas que tienen velocidad de transmisión variable, esto es pueden emplear desde baja velocidad hasta alta velocidad y que operen con distintos tipos de modulación digital y con sistemas de codificación, tanto en canales lineales y no lineales y en un ambiente de interferencia complejo como es un enlace vía satélite.

La energía del bit es obtenida multiplicando la potencia de la portadora por la duración del bit, esto está mostrado en la ecuación 5.1.

$$E_b = C T_b = C \left(\frac{1}{f_b} \right) \quad 5.1$$

A pesar de que la relación E_b/N_0 es utilizada para determinar la calidad del enlace, no son muy comerciales los aparatos de medición que permitan determinar el valor de la misma, mientras que la relación C/N es muy común hacer su medición.

Mientras es mas grande la E_b/N_0 la potencia requerida se incrementara y por esta situación la calidad del enlace es mucho mejor, pero no es necesario incrementar el nivel de potencia del enlace si se consideran la probabilidad de error en la transmisión digital.

La probabilidad del error también denominada BER (del inglés Bit Error Rate, tasa de error), es una medida que determina la posibilidad de que se presente un error en la recepción para una cantidad de bits de información, como ejemplo es el sistema PCM se tiene una probabilidad de error de 10^{-5} , esto es, por cada 10^5 bits transmitidos, existirá un bit de error.

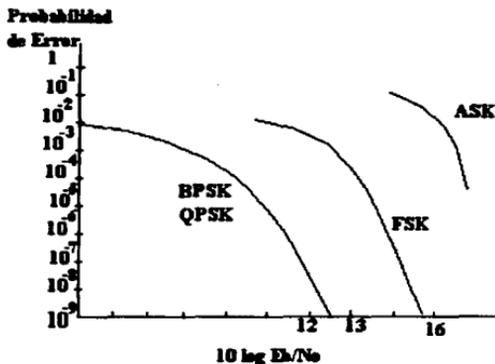


Figura 5.1 Probabilidad de Error en Modulación Digital

De acuerdo con la recomendación del CCIR, la probabilidad de error aceptable en la transmisión de voz es 10^{-4} , mientras que para una transmisión de datos será de 10^{-7} . La probabilidad de error y la relación E_b/N_0 se encuentran ligadas y entre las dos determinaran la calidad del enlace de comunicación, entre mayor E_b/N_0 se tenga, menor probabilidad tendremos de que se presente un error en los bits recibidos en la estación terrena. En la figura 5.1 se muestra la curva de probabilidades en función de el tipo de modulación empleado, en ella se observa que la modulación BPSK y QPSK son mejores que los otros esquemas de modulación, por este tipo de situaciones se emplea la modulación PSK es los sistemas de comunicación via satélite.

5.2.1 RUIDO EN SISTEMAS PSK

En capítulos anteriores se menciona que el ruido al introducirse en los sistema de modulación PSK provocan una inversión de fase en la señal recuperada, este ruido esta también asociado a la probabilidad de error. Existe además la probabilidad de error de símbolo con codificación y sin codificación denotados en la ecuación 5.2 y 5.3, estos están denotados por q_u y q_c respectivamente

$$q_u = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{STw}{KN_0} \right) \quad 5.2$$

$$q_c = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{STw}{nN_0} \right) \quad 5.3$$

Las expresiones 5.2 y 5.3 expresan que si se transmite una potencia de S Watts referidos al receptor y asumiendo que salen del receptor k símbolos en Tw segundos. De este modo la energía disponible para cada palabra es STw joules. Y la energía recibida por símbolo es STw/k sin codificación, con codificación la energía se dispersa sobre los n símbolos de las P palabras, entonces la energía por símbolo es STw/n

De las expresiones anteriores la función *erfc* es llamada función de error complementaria y esta definida por la ecuación 5.4.

$$erfc \approx \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}} \quad \text{para } x \gg 1 \quad 5.4$$

Un objetivo de la señalización QPSK es mantener una señal envolvente constante, haciendo que la información se lleve en la fase. Las transiciones de fase en cada mezclador de frecuencia se presentan en el periodo del intervalo del símbolo y se suavizan con un filtro pasa banda. En la practica, las restricciones de realizabilidad del filtro provocan fluctuaciones en la envolvente durante el filtrado de estas transiciones de fase.

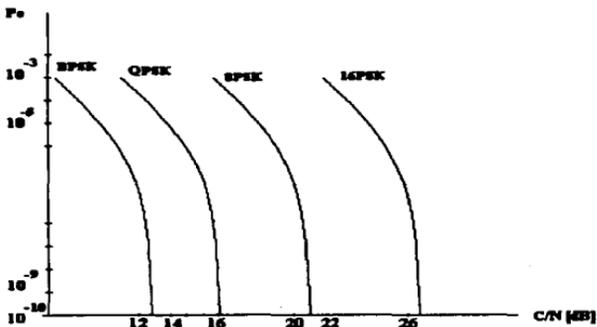


Figura 5.2 Rendimiento de la P_e en los sistemas PSK

Las fluctuaciones de envolvente no son de mayor interés en canales lineales. Sin embargo, muchos sistemas PSK diseñados para uso en satélites operan en etapas de salida no lineales. El amplificador no lineal reduce las fluctuaciones de envolvente a costa de una expansión del espectro, que nulifica el propósito del filtro pasa banda y pueden provocar interferencias inaceptables en las bandas de frecuencia adyacente.

En la figura 5.2 se ilustra gráficamente la relación entre la probabilidad de error esperada y la mínima relación requerida para lograr la P_e . Como se observa en dicha gráfica, este esquema de modulación es el óptimo para la obtención de enlaces óptimos en los sistemas digitales, aunque los últimos esquemas de modulación no son empleados en los mismos.

CAPITULO VI

APLICACIONES

En los sistemas de acceso vía satélite, muchos de los servicios son compartidos con los sistemas terrestres, esta es la razón de interferencia entre los dos sistemas. Cada antena en una estación repetidora puede transmitir en seis diferentes frecuencias teniendo cualquiera de las dos polarizaciones, horizontal o vertical, estas y las otras razones mencionadas crean problemas en la recepción de sistemas satelitales.

Una de las aplicaciones de las técnicas de acceso son precisamente la transmisión de televisión, otra de ellas es la transmisión de voz y datos en el sistema denominado SPADE, el cual se tratara a detalle posteriormente. En la tabla 6.1 son mostradas las frecuencias mas comunes empleadas en la transmisión de señales de televisión de los sistemas satelitales en banda C, así como la frecuencia central, este tipo de transmisión también será tratado a detalle en los puntos subsecuentes.

6.1 TRANSMISIÓN DE VOZ Y DATOS

Anteriormente se mencionó (capítulo 2) que para la transmisión de señales de voz, es necesario realizar la conversión analógico digital, esto es porque en la actualidad dicha transmisión se realiza a través de señales digitales, que a su vez pueden multicanalizarse con señales de datos y así pudiesen ser transmitidas por el transponder del satélite en el sistema FDMA.

Número de Transponder	Frecuencia de Bajada (MHz)	Banda de Frecuencia (MHz)
1	3720	3702-3780
2	3740	3722-3758
3	3760	3742-3778
4	3780	3762-3798
5	3800	3782-3818
6	3820	3802-3838
7	3840	3822-3858
8	3860	3842-3878
9	3880	3862-3898
10	3900	3882-4008
11	3920	3902-3938
12	3940	3922-3958
13	3960	3942-3978
14	3980	3962-3998
15	4000	3982-4018
16	4020	4002-4038
17	4040	4022-4058
18	4060	4042-4078
19	4080	4062-4098
20	4100	4082-4118
21	4120	4102-4138
22	4140	4122-4158
23	4160	4142-4178
24	4180	4162-4198

Tabla 6.1 Frecuencias Centrales en Banda C y Anchos de Banda.

El primer sistema de acceso via satélite para canales telefónicos es denominado SPADE Single Chanel per Carrier PCM Multiple Access Demand Assignment Equipment (Equipo de Asignación por Demanda en Acceso Múltiple por canal PCM Único por Portadora), este fue desarrollado para ser utilizado en el satélite *INTELSAT IV*.

Los objetivos del sistema SPADE se especifican como sigue:

- 1.- Proporcionar servicio eficiente para enlaces de trafico ligero.
- 2.- Manejar trafico de sobreflujo de enlaces preasignados de media capacidad.
- 3.- Permitir establecimiento de enlaces de comunicación de una estación terrena a cualquier otra estación terrena dentro de la misma zona de demanda.
- 4.- Utilizar eficientemente la capacidad del satélite a través de asignación individual de circuitos.
- 5.- Optimizar el uso del equipo existente de la estación terrena

Con SPADE, modulan 800 canales de banda de voz codificados con PCM, por separado. El tipo de modulación que se emplea comúnmente es QPSK con una señal portadora de FI (de ahí el nombre de SCPC). Cada canal de banda de voz de 4 KHz se muestrea a 8 KHz con 8 bits PCM, esto produce una señal de salida de 64 Kbits/seg. Para cada canal de voz , esta señal de salida es modulada con una frecuencia de portadora distinta. Con la modulación QPSK el ancho de banda mínimo requerido resulta la mitad de la velocidad de los bits de entrada, es decir el ancho de banda de salida de la señal es de 32 KHz. A cada canal se le asigna un ancho de banda de 45 KHz, permitiendo una banda de guarda de 13 KHz entre pares de canales multicanalizados en FDM.

La figura 6.1 muestra un diagrama a bloques de un transmisor SPADE típico. Las frecuencias de portadora de FI comienzan en 52.0225 MHz (canal 1 de la banda baja) y se incrementan en pasos de 45 KHz, hasta 87.9775 MHz (canal 400 de la banda alta).

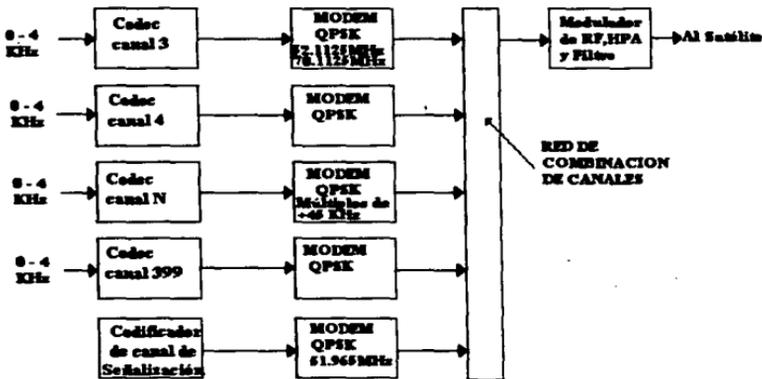


Figura 6.1 Transmisor de Estación Terrena con SPADE.

La banda completa de 36 MHz (52 a 88 MHz) se divide a la mitad, produciendo dos bandas del canal 400 (una banda baja y una banda alta). Para una operación de full duplex, se utilizan 400 canales de 45 KHz, para una dirección de la transmisión, y 400 se utilizan para la dirección opuesta. Además, los canales 1, 2 y 400 de cada banda se quedan permanentemente vacíos. Esto reduce el número de canales de banda de voz de full duplex que pueden utilizarse a 397. La banda C se extiende desde 5.725 GHz a 6.425 GHz (700 MHz). Esto permite aproximadamente 19 canales de RF de 36 MHz por sistema. Cada canal de RF tiene una capacidad de 397 canales de voz en operación full duplex.

La figura 6.2 muestra el espectro en frecuencia de el sistema SPADE, en ella se muestra el canal de señalización común de 160 KHz. El canal es una transmisión

Estación Trazana 1 128 bits	Estación Trazana 2 128 bits	Estaciones Trazanas 3 - 49 128 bits cada una	Estación Trazana 50 128 bits
- 1 msog -	- 1 msog -	- 47 msog -	- 1 msog -

Figura 6.3 Trama del Canal de Señalización.

El sistema SPADE emplea una tasa de error baja este valor común es 10^{-7} , las características mas importantes de este sistema son:

Que al tener un solo canal por portadora, esta se puede apagar (no existe potencia transmitida) cuando no haya voz presente, lo que sucede cuando menos 50 % del tiempo en que uno establece conversación, ya que algunas veces uno solamente escucha, y aun hablando, se producen pausas entre palabras, esto provoca que en realidad se tengan menos de 400 portadoras encendidas al mismo tiempo en un transponder.

Para evitar interferencia provocada por los productos de intermodulación, las portadoras trabajan abajo del punto de saturación del transponder.

Los canales SPADE son modulados en QPSK, cada canal opera a 64 Kbits/seg., y se obtiene buena calidad subjetiva con espaciamiento de 45 KHz entre canales, con una relación C/No de 58.36 dB-Hz.

Los canales telefónicos pueden intercalarse con datos a la misma velocidad.

6.2 TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN

El numero de canales de televisión, las conversaciones telefónicas o la cantidad de datos transmitidos esta relacionado con el diseño electrónico de un satélite. Los 500 MHz en la banda C en el rango de 3.7 a 4.2 GHz, fue dividido dentro de 12 segmentos de 40 MHz mas una remanente de 20 MHz. Desde un ancho de banda de 36 MHz es mas que suficiente para radiodifusión de una alta calidad de imagen analógica de televisión. La Western Union diseño sus satélites pioneros para reemplazar 12 canales de 36 MHz de ancho de banda con una banda de guarda de 4 MHz entre canal y canal, para eliminar la posibilidad de interferencia entre canales adyacentes.

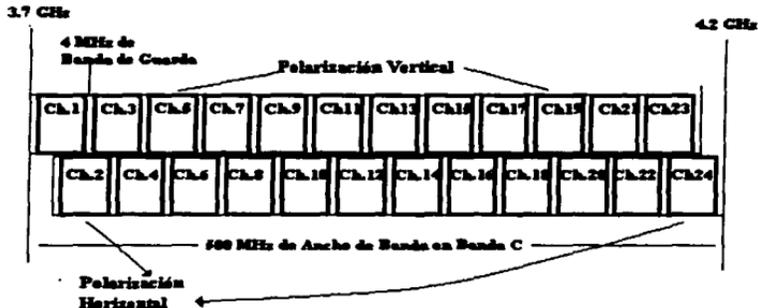


Figura 6.4 Estándar de Frecuencias para transmisión de TV en Banda C

Uno de los primeros satélites que emplean 500 MHz de ancho de banda es el Satcom I, también utilizando la técnica de rehuso de frecuencias. Todos los canales pares son transmitidos en polarización horizontal y los canales impares en polarización vertical, en la figura 6.4 es mostrada como ejemplo la transmisión de los 24 canales de video con sus polarizaciones respectivas, las frecuencias centrales son mostradas en la tabla 6.1

En la recepción, el receptor esta equipado para detectar cualesquiera de las dos polarizaciones, vertical u horizontal en el instante preciso, y de esta forma no se desvaneciese la señal.

Las señales de video han sido tradicionalmente transmitidos en una porción de 28 MHz, de el total de 36 MHz de ancho de banda del transponder. Esto ha sido suficiente para proveer una alta calidad en la señal de video.

El restante remanente fue entonces usado para el audio o señales de datos, el caso de la reducción de banda se traduce en la calidad de la señal de video, algunos otros sistemas emplean la mitad del ancho de banda del transponder, con alguna degradación en la señal de video.

Cuando dos señales son transmitidas via un solo transponder , el total de la potencia disponible puede ser cortada a la mitad (Back off) y dividida entre los dos canales. La potencia del enlace de subida será entonces atenuada 3 o 4 dB's para evitar la interferencia entre los dos canales.

Una variedad de métodos se han empleado en la transmisión de datos o el audio de la señal de TV, este se ha incluido a través de subportadoras, o han sido relevados por sistemas en donde el audio viaja por separado en el sistema SCPC.

Siguiendo la recepción y procesamiento convencional en donde el audio viaja a través de subportadoras dentro del mismo transponder, en algunos sistemas puede transmitirse el sistema estéreo dentro de las subportadoras de audio(véase la figura 6.5), estas señales viajan dentro de los 5 a los 9 MHz en el sistema NTSC, en el caso de la transmisión monofónica de la señal de audio, esta se transmite entre los 6.2 y 6.8 MHz de las subportadoras.

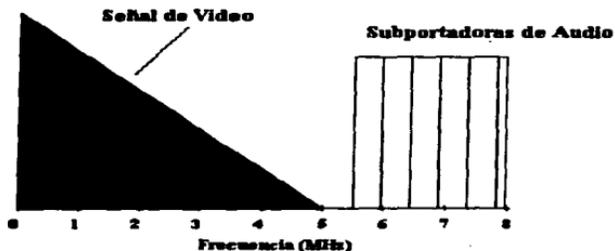


Figura 6.5 Formato de Audio en el sistema NTSC en la Transmisión por Satélite.

En el sistema NTSC el sistema de audio se sitúa en la subportadora de los 4.5 MHz, usualmente son señales analógicas, también pueden enviarse señales estéreo, en la transmisión dentro de la banda C las subportadoras de audio se sitúan en los 5.5 a los 9 MHz, con 6.2, 6.6 y los 6.8 MHz para las señales monaurales. El sonido estéreo es enviado a menudo, modulado es dos subportadoras separadas, por ejemplo a 7.20/7.38 o 7.02/7.20 MHz, las frecuencias dependen del sistema de transmisión empleado.

Las señales de audio también pueden enviarse de manera independiente a las señales de video en el sistema SCPC. En este caso cada canal de audio es transmitido sobre una portadora independiente de la señal de video. Un canal de audio en el sistema SCPC ocupa desde un ancho de banda pequeño de 5 KHz para mensajes de voz (a semejanza con el canal telefónico) hasta un ancho de banda considerablemente grande de 250 KHz para sistemas de audio de gran fidelidad. Estos cientos de canales de SCPC se transmiten sobre portadoras independientes hacia el transponder del satélite.

Otra de las técnicas de transmisión del audio es introducirla dentro de la misma estructura de la señal de video de TV, esta técnica es conocida como *Sonido en Sincronía* (Sound in Sync), esta técnica consiste en digitalizar la señal de audio e insertarla dentro de los intervalos de blanqueo o borrado horizontal o vertical en la señal estándar de TV (esto se puede observar en la figura 6.6), puesto que en estos intervalos la señal de TV se "apaga", es decir no existe información.

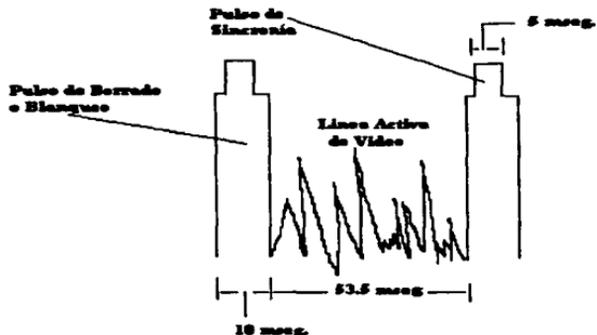


Figura 6.6 Señal de Video Estándar.

Esto es factible puesto que estos intervalos ocupan cerca del 20 % del total de el tiempo de línea de la señal de video, usando Sound and Sinc elimina la necesidad de separar la señal de audio con la señal de video o en su defecto enviarlos sobre canales independientes, de este modo la potencia del transponder puede emplearse en el envío de la información de video y la relación S/N puede ser maximizado.

6.2.1 RADIODIFUSIÓN DE VIDEO DIGITAL

La televisión digital ha sido uno de los sistemas que ha revolucionado la técnica de transmisión de video, como se ha acostumbrado el sistema de transmisión de video analógico ha sido un a de las formas mas empleadas en la transmisión por satélite, la nueva técnica de video digital y el avance tecnológico ha desarrollado varias técnicas para la conversión analógico digital , la modulación y la transmisión de la señal de video.

En Norte América se ha lanzado alguna formas de la radiodifusión comercial de video digitalizado, estas formas o métodos son conocidos como *DirecTV*, *USSB*, *PrimeStar*, etc. , que ofrecen su programación vía sistemas de banda Ku, con receptores parabólicos de pequeña dimensión, sin embargo la tradicional banda C en video sigue permanente, por la situación técnica del equipo de recepción.

Otras áreas en el mundo, como por ejemplo el África, han lanzado a la radiodifusión comercia el video comprimido o compreso(MultiChoice). En Norte América los sistemas de transmisión de video digital ha llevado a la creación de la normalización de estos estándares, esto ha creado la MPEG(Motion and Picture Expert Group).

Existen ventajas en el uso de los métodos digitales para procesar y transmitir la señal de TV, uno de ellos es que pocos bits de información pueden emplearse en la transmisión de las señales de sincronía que ocupan bastante espacio dentro del formato analógico, otra

ventaja es que las señales de crominancia y de luminancia se pueden procesar por separado e ir multiplexados en TDM, y de esta forma evitar la interferencia entre ellas.

Existen algunas limitantes de la transmisión de video digital, al principio la señal digital de video empleaba (1980) cerca de 216 Mbits/seg., esto significaba un enorme ancho de banda de la señal, ahora con el desarrollo de nuevas técnicas de modulación y de compresión de datos, esta velocidad es ahora significativamente menor, puesto que los nuevos satélites de comunicación emplean anchos de banda en los transponders bastante grandes sobre todo en la banda Ku.

Las técnicas de compresión de datos emplean codificación en la transmisión y descodificación en la recepción, uno de los códigos mas empleados es el Código Huffman, este código y otros mas utilizan la predicción de datos, esta predicción se realiza a través de métodos estadísticos aplicado a señales.

Otra de la técnicas empleadas en la transmisión de video digital compreso es la Codificación de imagen por transformación, esta técnica emplea desde la mas simple transformación de Fourier hasta la mas compleja denominada Transformación K-L (Karhunen Loeve); la técnica mas empleada en la transmisión digital de video por satélite es la Codificación por Transformada Discreta Coseno (DCT), esta descompone la señal en sus componentes de frecuencia y esto son representados por coeficientes, esta transformación contiene ventajas significativas como son:

Como la información de video contiene mas información en bajas frecuencias, los coeficientes de la DCT y la simetría , que es una de las propiedades de la transformación, pueden ahorrar bits en la codificación con el consecuente ahorro en la transmisión. La otra ventaja es que este tipo de codificación reduce el error perceptual en la recepción.

Conclusiones

La mayoría de los sistemas actuales están basados en los sistemas digitales, es decir la tendencia en los sistemas de comunicación es la digitalización de las señales para su posterior transferencia, en los sistemas vía satélite, la tendencia es similar, es decir se están utilizando los sistemas de comunicación digital, por esta razón el sistema SCPC en la técnica de acceso FDMA, es hasta la fecha la más utilizada para la comunicación telefónica, para la transferencia de información, llámese datos o canales de voz PCM se emplea también la técnica SPADE la cual ha demostrado desde sus inicios ser bastante competitiva para los sistemas digitales.

Aunque estas dos técnicas anteriores son bastante eficientes, aún así se tienen problemas de intermodulación por la presencia de múltiples portadoras en el transponder, razón por la cual el sistema TDMA comienza a demostrar ser el más apropiado en los sistemas de comunicación digital, aunque por la complejidad del mismo no se haya explotado en toda su capacidad.

TDMA suministra una gran eficiencia en los sistemas de redes de datos, también este sistema en enlaces punto a punto se puede tener un tráfico moderado de información, en contraparte con el sistema FDMA SCPC el cual tiene aplicaciones de tráfico ligero, esta comparación también puede aplicarse a la capacidad por cada MHz en el transponder, el cual resulta casi la misma para ambos sistemas, exceptuando a los sistemas CDMA que emplean el transponder completo.

En la mayoría de las comparaciones respecto a la eficiencia de los tres sistemas, quien lleva la mejor de las ventajas es el sistema TDMA, pues este emplea el sistema PCM, con todas las propiedades y ventajas de los sistemas digitales, además de utilizar el transponder completo a toda su capacidad, y prácticamente a toda su potencia, sin que existan los productos de intermodulación, a diferencia de FDMA.

El sistema CDMA solo se restringe su uso a los sistemas militares, que requieren la codificación de su información, para evitar de esta forma la intrusión en sus redes de transferencia de comunicación.

Ahora con la tendencia a la utilización de la banda Ku que proporciona un ancho de banda más grande para los enlaces satelitales, así como la digitalización de los sistemas de vídeo, se comienza a explotar la transmisión de televisión digitalizada, así como las correspondientes variantes, como son las videoconferencias a través de satélite, esto sobre el sistema TDMA y FDMA.

Bibliografía

- Bhargava V.K., Haccon D., Matyas R., Nuspi P.** *Digital Communications By Satellite*, John Wiley and Sons, New York 1981
- Carlson B.**, *Sistemas de Comunicación*, McGraw Hill, México 1980
- Ferber K.**, *Digital Communications*, Prentice Hall, Englewood Cliffs New Jersey 1981
- Grob B.**, *Basic Television*, McGraw, Hill New York 1982
- Lathi B. P.**, *Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación*, Limusa, México 1980
- Martin J.**, *Communications Satellite Systems*, Prentice Hall N.J. 1978
- Panter P.**, *Modulation Noise and Spectral Analysis*, McGraw, Hill New York 1965
- Pratt W.K.**, *Digital Image Processing*, John Wiley and Sons, New York 1978
- Schwartz M.**, *Transmisión de Información, Modulación y Ruido* McGraw Hill, México 1990
- Spilker J.J.**, *Digital Communications By Satellite*, Prentice Hall, Englewood Cliffs New Jersey 1977
- Taub and Schilling.** *Principles of Communication Systems*, McGraw Hill New York 1986
- Tri T. H.**, *Digital Satellite Communications*, McGraw Hill New York 1988
- Wayne T.**, *Sistemas de Comunicación*, Prentice Hall Hispanoamericana, México 1996