

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



METODOS DE MEDICION Y PRUEBA EN ORBITA  
PARA TRANSPONDER DE SATELITES

POR:

ING. JESUS RODRIGUEZ ZAMORA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DE LA INGENIERIA CON ESPECIALIDAD  
EN TELECOMUNICACIONES

CD. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE 2002

J.R.Z.

MÉTODOS DE MEDICIÓN Y PRUEBA EN ORBITA

PARA TRANSPONDER DE SATELITES

2002

TM

Z5853

.M2

FIME

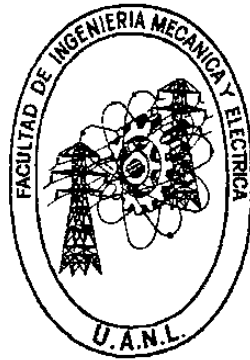
2002

.R62



1020148553

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



METODOS DE MEDICION Y PRUEBA EN ORBITA PARA  
TRANSPONDER DE SATELITES

POR

ING. JESÚS RODRÍGUEZ ZAMORA

TESIS  
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
INGENIERIA CON ESPECIALIDAD EN TELECOMUNICACIONES

CD UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 2002

975081

TM

Z5853

•H2

FHE

2002

.R62 .



FONDO  
TESIS

**Universidad Autónoma de Nuevo León**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**División de Estudios de Post-grado**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “Métodos de Medición y Prueba en Orbita para Transponder de Satélites”, realizada por el alumno Ing. Jesús Rodríguez Zamora matrícula 794309 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería con especialidad en Telecomunicaciones.


El comité de Tesis

  
-----  
Asesor

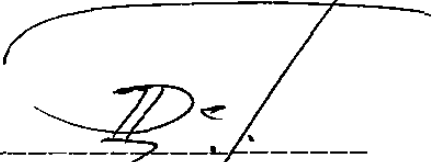
M.C. Fernando Estrada Salazar.

  
-----  
Coasesor

M.C. Ciro Calderón Cárdenas.

  
-----  
Coasesor

M.C. Jorge A. Becerra Turrubiartes.

  
-----  
Vo. Bo

Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodriguez.

División de Estudios de Post-grado



## DEDICATORIA.

A DIOS:

Te doy gracias por haberme permitido llegar felizmente a este día.  
Por todo la sabiduría y conocimientos que me das.

A MIS PADRES:

MARÍA ELENA Y BENITO.

Gracias por darme la vida, por estar conmigo en mis triunfos, derrotas y anhelos. Por enseñarme a ser alguien de provecho y apoyarme a conseguir mis metas. Ya que sin ustedes no lo hubiera logrado.

A MIS HERMANOS:

URIEL Y EDGAR.

Gracias por estar conmigo, por darme su apoyo, compañía y alentarme a seguir adelante.

HUGO(+).

Gracias, ya que desde el cielo siempre estuviste conmigo para no dejarme derrotar y pensar que estabas conmigo me dio la fuerza para seguir adelante.

## AGRADECIMIENTOS.

A mis abuelos, por los momentos que vivimos juntos y por los consejos que me dieron para seguir adelante y no mirar atrás.

A mis tíos, por darme su apoyo y darme la confianza para lograr mis metas.

A mis primos, por estar conmigo y darme su confianza para realizar mi sueño.

A mis padrinos, por su compañía y por los consejos que me dieron para terminar mi carrera.

A mis amigos, que no los menciono por nombre no vaya a olvidarme de alguien, pero saben quienes son, ellos me han acompañado en las buenas y las malas, y juntos logramos nuestros sueños.

A mis sobrinos, por alegrarme la vida con sus travesuras.

A mis maestros de maestría, por todos los conocimientos transmitidos.

A mi asesor, por transmitirme sus conocimientos y experiencias y ayudarme a realizar uno de mis sueños.

A Guy Harles, por su apoyo y conocimientos transmitidos para realizar esta tesis.



## PRÓLOGO.

El avance de la tecnología es cada vez más rápido, por lo que es necesario mantenerse actualizado, ya que el tráfico de la información crece cada día y es necesario mejorar los sistemas de comunicaciones existentes. En este caso la comunicación vía satélite es muy importante por su gran capacidad de información que maneja y por la gran cobertura que proporciona.

Se requiere mejorar los sistemas de comunicación vía satélite. Es necesario tener un mejor funcionamiento en el transponder del satélite. El mejorar las pruebas en órbita del transponder del satélite nos permitirá un mejor funcionamiento de este.

Con el desarrollo del espectro expandido ó disperso es posible obtener un método para tener mejores resultados en las pruebas del transponder del satélite en órbita, para los parámetros de amplitud y el retraso de grupo del canal del transponder.

Con este nuevo método de espectro expandido las mediciones impactan menos durante la operación comercial del transponder y además los costos se reducen.

# INDICE.

CAPITULO	PAGINA
Síntesis	1
1. Introducción	3
1.1. Descripción del Problema.	3
1.2. Objetivo de la Tesis.	3
1.3. Hipótesis.	3
1.4. Limites de Estudios.	4
1.5. Justificación del Estudio.	4
1.6. Metodología.	4
1.7. Revisión Bibliográfica.	4
2. Conceptos Básicos.	5
2.1. Concepto de satélite	5
2.2. Tipos de órbitas	7
2.3. Satélites geoestacionarios	7
2.3.1. Ventajas de las órbitas geosincronas	9
2.3.2. Desventajas de las órbitas geosincronas	9
2.4. Sistemas de comunicaciones por satélite actuales	10
2.5. Patrones orbitales	10
2.6. Angulo de vista	11
2.6.1. Angulo de vista	12
2.6.2 Azimut	13
2.7. Clasificaciones orbitales, espaciamiento y asignaciones	14
2.8. Bandas comerciales	16
2.9. Patrones de radiación: huellas	17
2.9.1. Reutilizar	19
2.10. Modelos de enlace del sistema satelital	19

2.10.1. Modelo de subida	19
2.10.2. Transponder	20
2.10.3. Modelo de bajada	21
2.10.4. Enlaces cruzados	22
2.11. Control y Supervisión del Sistema de Comunicaciones	22
2.11.1. Pruebas en Orbita	23
3. Tipos de Modulación.	25
3.1. Concepto de modulación.	25
3.2. Modulación en amplitud(AM).	25
3.3. Modulación en frecuencia(FM).	27
3.4. Modulación por pulsos codificados(PCM)	28
3.4.1 Cuantificación.	30
3.4.2. PCM adaptable(APCM).	31
3.4.3 Modulación delta.	31
3.4.4. ADPCM.	32
3.5. Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)	32
3.6. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)	33
3.6.1 PSK binario.	34
3.6.2 Cuatro fases PSK.	34
3.6.3 Ocho fases PSK.	35
3.7. Modulación en amplitud en cuadratura(QAM).	36
3.7.1.8 QAM.	37
3.8. Técnicas de multiplexaje digital.	39
3.8.1 FDM.	39
3.8.2 TDM.	39
3.8.3 WDM.	39
3.9. Jerarquías digitales.	39
3.9.1 Jerarquía europea.	40
3.9.2 Jerarquía norteamericana.	41
3.10. Técnicas de acceso múltiple.	41

3.10.1	FDMA.	43
3.10.2	TDMA.	43
3.10.3	CDMA.	44
4.	Espectro expandido.	45
4.1.	Concepto de espectro expandido.	45
4.1.1	Ganancia de procesamiento y margen de interferencia	50
4.2.	Espectro expandido de secuencia directa (DSSS).	52
4.3.	Espectro expandido de salto de frecuencia (FHSS).	56
4.4.	Salto de tiempo (TH).	60
4.5.	Sistemas de pulso FM (CHIRP).	61
4.6.	Formas híbridas.	62
4.6.1	Modulación FH/DS	63
4.6.2	Modulación TH/FH.	65
4.6.3	Modulación TH/DS.	66
5.	Método Actual.	68
5.1.	Degradación de señal digital por retraso de grupo.	68
5.2.	Portadora digital.	69
5.3.	Pruebas del método actual.	71
5.4.	Resultados de pruebas.	73
5.5.	Prueba de amplitud.	78
6.	Método de espectro expandido.	80
6.1.	Introducción.	80
6.2.	Principios del método de espectro expandido.	83
6.3.	Detección de señal.	85
6.4.	Parámetros básicos de la implementación de un módem.	89
6.5.	Aplicaciones y ventajas del método de espectro expandido.	93

6.5.1 Prueba del transponder con el método actual.	93
6.5.2. Ventajas del nuevo método.	95
6.6 Verificación del método de espectro expandido.	96
6.6.1. Influencia en carga útil.	98
7. Conclusiones y recomendaciones.	99
7.1. Conclusiones.	99
7.2. Recomendaciones.	100
Bibliografía.	101
Listado de Figuras.	103
Listado de Tablas.	106
Apéndices.	107
Apéndice A Abreviaturas.	108
Apéndice B Preguntas mas frecuentes sobre Espectro Expandido.	110
Apéndice C MC30-A.	113
Glosario.	116
Resumen Autobiográfico.	125

## SÍNTESIS.

Esta tesis introduce un nuevo método de la medición para el comienzo de vida y la prueba en servicio de transponders de los satélites que utiliza señales de espectro expandido. Se presentan los fundamentos de este nuevo método, que permiten la medición de la amplitud y el retraso de grupo de un canal del transponder. Las ventajas del nuevo método comparado a los métodos existentes se discuten y se presentan los resultados de medición que verifican la aplicabilidad del nuevo método.

Empiezo con la explicación de que es un satélite, el tipo de órbitas y frecuencias que utiliza, como esta formado una comunicación satelital y se hace mención de que los principales satélites de comunicación se encuentran en la órbita geoestacionaria. Se mencionan sus ventajas y desventajas.

Se analiza los patrones de radiación y como esta formado el transponder y las estaciones terrenas de transmisión y recepción, así como las pruebas que se realizan en la puesta en órbita de un satélite.

Se da una explicación sobre lo que es modulación y sus diferentes tipos tanto análoga como digital ya que es necesario para entender lo que es el espectro expandido. En modulación análoga se explica como AM y FM y en modulación digital, PCM, PSK, QAM y QPSK, esta ultima muy utilizada en enlaces satélites.

Se estudia las diferentes técnicas de multiplexaje digital que son FDM, TDM y WDM, así como la formación de grupos para el trafico en el sistema tanto en la jerarquía digital europea como americana.

Con los sistemas de satélite, el ancho de banda disponible para las comunicaciones es muy limitada. Por lo tanto, para utilizar eficientemente la capacidad del transponder, hay que trabajar de punto a multipunto, técnica que se conoce como acceso múltiple. Por lo tanto se expone las técnicas de acceso múltiple FDMA, TDMA y CDMA.

Se explica que es el espectro expandido(SS), que se puede definir como una técnica de la modulación que hace el sacrificio del ancho de banda para ganar en funcionamiento señal a ruido. Se explica los diferentes tipos de espectro expandido dando una principal importancia al espectro expandido de secuencia directa(DSSS) y al de salto de frecuencia(FHSS).

También se explican los sistemas de salto de tiempo(TH), sistema de pulso FM(Chirp) y sistemas híbridos.

Se analiza la degradación de la señal del satélite por el retraso de grupo, así como afecta en la portadora digital y se estudia como se realiza la prueba del retraso de grupo con el analizador de acoplamiento de microondas(MLA), y se muestran los resultados del retraso de grupo para varias modulaciones.

Para finalizar se analiza el nuevo método de espectro expandido para la prueba en órbita del transponder del satélite, sus principios, como se detecta la señal y aplicaciones; y se compara con el método tradicional y se muestran las ventajas que se tienen con este nuevo método.

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

No obstante el alto desarrollo tecnológico en el área de comunicaciones y en particular en lo que respecta a satélites, aun existe cierto grado de incertidumbre al tratar de predecir el comportamiento de un satélite al ser puesto en órbita.

## 1.2.OBJETIVO DE LA TESIS.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías entre los que se cuenta la de espectro expandible surge la posibilidad de implementar métodos más eficientes para caracterizar los parámetros de un transponder de satélite en órbita. El objetivo es proponer un nuevo método de análisis mediante espectro expandible.

## 1.3.HIPÓTESIS.

Yo supongo que con el método de espectro expandido serán más eficientes las mediciones para poner en operación los transponder's comerciales y a un menor costo, en comparación a los métodos tradicionales.



## 1.4.LÍMITES DEL ESTUDIO.

Esta tesis comparará los métodos clásicos con el método de espectro expandido sin profundizar en ningún otro procedimiento.

## 1.5.JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

El mundo actual gira alrededor de los sistemas de comunicación, mientras más eficientes sean estos y los métodos de monitoreo se tendrá una mayor confiabilidad y por lo tanto una comunicación más eficaz y eficiente. Se requiere que el estudio sea realizado por una persona con conocimientos en Telecomunicaciones.

## 1.6.METODOLOGÍA.

- Recopilación de información.
- Asesoría con expertos.
- Analizar la información.
- Generar las propuestas preliminares.
- Ponderar las propuestas.
- Definir la propuesta final.
- Redacción del documento.

## 1.7. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Revisé algunos estudios sobre espectro expandido y no encontré un trabajo relacionado con el tema de prueba en órbita de tranponders de satélite, ya que el método de estudio fue realizado por Guy Harles de SES ASTRA y está en etapa de prueba. Esta tesis comparará este nuevo método con el método actual con apoyo de Guy Harles.

## 2. CONCEPTOS BASICOS.

### 2.1. CONCEPTO DE SATÉLITE.

A principios de 1960, la American Telephone and Telegraph Company (AT&T) publicó estudios, indicando que unos cuantos satélites poderosos, de diseño avanzado, podrían soportar mas trafico que toda la red AT&T de larga distancia. El costo de estos satélites fue estimado en solo una fracción del costo de las facilidades de microondas terrestres equivalentes. Debido a que AT&T era proveedor de servicios, los reglamentos del gobierno le impedían desarrollar los sistemas de satélite. Debido a esto, los desarrollos iniciales en la tecnología de satélites tardaron en surgir.

A través de los años, los precios de la mayoría de los bienes y servicios han aumentado sustancialmente; sin embargo, los servicios de comunicación por satélite, se han vuelto más accesibles cada año. En la mayoría de los casos, los sistemas de satélite ofrecen mas flexibilidad que los cable submarinos, los cables subterráneos escondidos, radio de microondas en línea de vista, radio de dispersión troposferica, o sistemas de fibra óptica.

Un satélite de comunicaciones es un repetidor de radio en el cielo (transponder). Un sistema de satélite consiste de un transponder, una estación base en tierra, para

controlar su funcionamiento y una red de usuarios de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción de tráfico de comunicaciones, a través del sistema del satélite. Las transmisiones de satélite se catalogan como “bus” o carga útil. El bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil. La carga útil es la información del usuario que será transportada a través del sistema. Aunque en los últimos años los nuevos servicios de datos y radioemisión de televisión son más y más demandados, la transmisión de las señales de teléfono de voz convencional (en forma analógica o digital), aun son el volumen principal de la carga útil del satélite.

Los satélites son llamados satélites orbitales o no sincronos. Los satélites no sincronos giran alrededor de la tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Si el satélite esta girando en la misma dirección que la rotación de la tierra y a una velocidad angular superior que la de la tierra, la órbita se llama órbita progrado. Si el satélite esta girando en la dirección opuesta a la rotación de la tierra o en la misma dirección, pero a una velocidad angular menor a la de la tierra, la órbita se llama órbita retrograda. En la figura 2.1 se muestra el satélite Orion I.

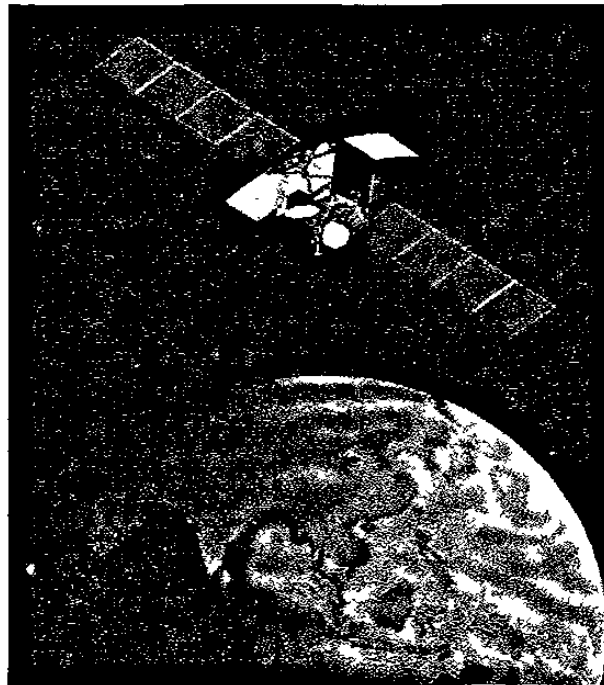


Fig. 2.1 Satélite Orion I

## 2.2. TIPOS DE ORBITAS.

**GEO.-** Órbita terrestre geosíncrona. Los satélites GEO orbitan a 35848 Km sobre el ecuador terrestre. Son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual y en el mismo sentido de la tierra. Tiempo de retardo elevado (.24s).

**MEO.-** Los satélites de órbita terrestre media se encuentran a una altura de entre 10075 y 20150 Km. Su posición relativa respecto a la tierra no es fija. Tiempo de retardo (.06-.14 s).

**LEO.-** Las órbitas terrestres de baja altura se encuentran por debajo de 5035 Km. Tiempo de retardo muy pequeño (.03 s). Se necesitan muchos satélites para cubrir totalmente la tierra. Ejemplo de satélites LEO son: Orbcomm, Iridium, Teledesic.

**HALE.-** Las plataformas de gran altitud y resistencia son básicamente aeroplanos alimentados por energía solar, se encuentran a 21 Km de la superficie de la tierra.

## 2.3. SATELITES GEOESTACIONARIOS.

Los satélites geoestacionarios o geosíncronos son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual y en el mismo sentido de la tierra. Consecuentemente, permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico de la tierra.

Una ventaja obvia es que están disponibles para todas las estaciones de la tierra, dentro de su huella o cobertura, 100% de las veces. La sombra de un satélite incluye a todas las estaciones de la tierra que tienen un camino visible a él y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja obvia es que a bordo, requieren de dispositivos de propulsión sofisticados y pesados para mantener su posición en órbita. El periodo de órbita de un satélite geosíncrono es de 24h, igual que la tierra.

Syncom I, lanzado en febrero de 1963, fue el primer intento de colocar un satélite geosíncrono en órbita. Syncom I se perdió durante la colocación en órbita. Syncom II y Syncom III fueron lanzados, de manera exitosa, en febrero de 1963 y agosto de 1964. El satélite Syncom III fue usado para transmitir los Juegos Olímpicos de 1964, desde Tokio. Los proyectos Syncom demostraron la posibilidad de usar satélites geosíncronos.

Desde los proyectos Syncom, un número de naciones y corporaciones privadas han lanzado, de manera exitosa, satélites que se están usando actualmente para proporcionar comunicaciones regionales y globales, así como internacionales. Hay más de 200 sistemas de comunicaciones por satélite funcionando en el mundo hoy en día. Proporcionan circuitos de datos y teléfono de portadora común fija mundial; televisión de cable punto a punto (CATV); distribución de televisión en red; radiodifusión de música; servicio de telefonía móvil; redes privadas para corporaciones, agencias del gobierno y aplicaciones militares.

En 1964, se estableció una red de satélite comercial global conocida como Intelsat (Organización Satelital para Telecomunicaciones Internacionales). Intelsat es propiedad y operada por un consorcio de más de 100 países. Intelsat es manejada por las entidades de comunicaciones designadas en sus países respectivos.

El primer satélite Intelsat fue Early Bird I, el cual fue lanzado en 1965 y proporcionaba 480 canales de voz. De 1966 a 1987, se lanzaron una serie de satélites designados, Intelsat II, III, IV, V y VI. Intelsat VI tiene capacidad de 80,000 canales de voz.

En la figura 2.2 se muestra la posición de los satélites en la órbita geoestacionaria.

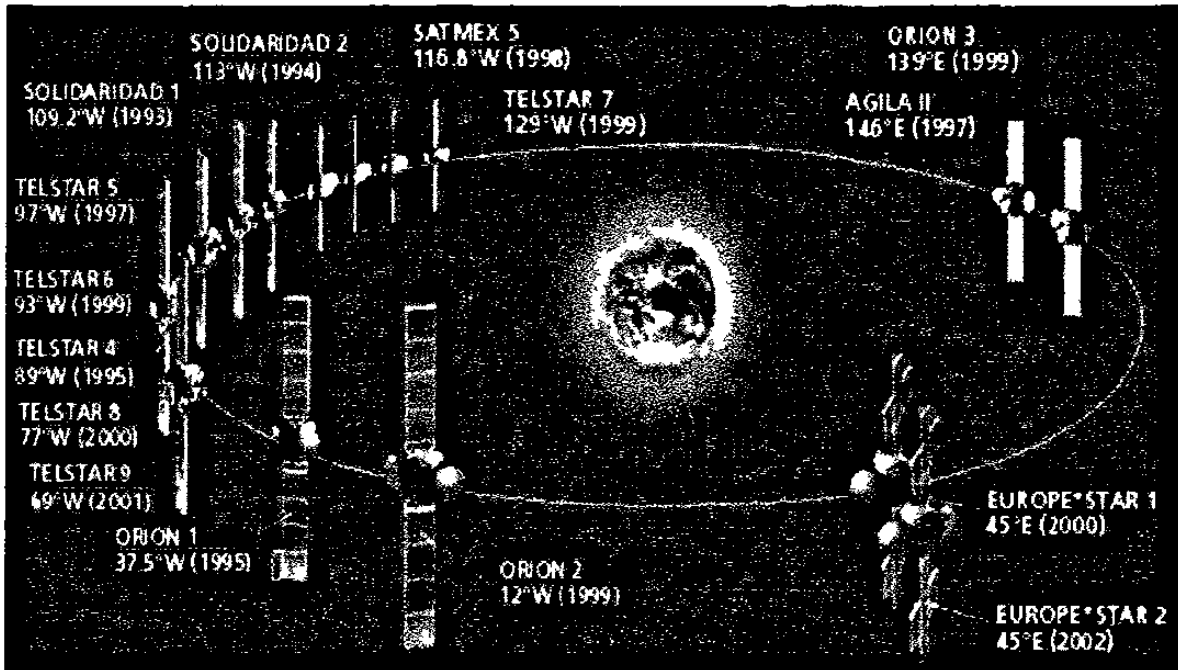


Fig. 2.2 Posición de satélites

Los satélites domésticos (Domsats) son usados para proporcionar los servicios de satélite dentro del país. En Estados Unidos y México, todos los domsats están situados en órbitas geostacionarias.

### 2.3.1. VENTAJAS DE LAS ORBITAS GEOSINCRONAS:

- a) Permanecen en posición fija con respecto a un punto específico en la tierra.
- b) No hay necesidad de cambiar de un satélite a otro, cuando giran por encima, no hay interrupción en la transmisión por los tiempos de conmutación.
- c) Pueden cubrir un área de la tierra mucho más grande con respecto a los de órbita baja.

### 2.3.2. DESVENTAJAS DE LAS ORBITAS GEOSINCRONAS:

- a) La gran altura de los satélites geosíncronos introducen tiempos de retardo.
- b) Los satélites geosíncronos requieren de alta potencia de transmisión y receptores más sensibles debido a las distancias.

## 2.4.SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR SATÉLITES ACTUALES.

En la tabla 2.1 se muestra algunos de los sistemas de comunicación existentes y sus características.

	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA			
	Westar	Intelsat V	SBS	Fleeti Stacom
Operador	Telégrafo Western Union	Intelsat	Sistemas de negocios satelitales	Departamento de defensa EU
Banda de frecuencia	C	C Y Ku	Ku	UHF, X
Cobertura	Cono	Global, Zonal	Cono	Global
No.de Transponder	12	21	10	12
Transponder BW (MHz)	36	36-77	43	.005-.5
EIRP(dbW)	33	23.5-29	40-43.7	26-28
Acceso Múltiple	FDMA, TDMA	FDMA, TDMA	TDMA	FDMA
Modulación	FM, QPSK	FDM/FM, TDMA	QPSK	FM, QPSK
Servicio	Tele fija, TTY	Tele fija, TVD	Tele fija, TVD	Militar móvil

TABLA 2.1 Sistemas de comunicaciones

## 2.5.PATRONES ORBITALES.

Un satélite permanece en órbita debido a que la fuerza centrífuga, causada por su rotación alrededor de la tierra, es contrabalaceada por la atracción gravitacional de la tierra. Entre mas alejado gire de la tierra el satélite, más grande es la atracción

gravitacional y sería mayor la velocidad requerida para mantenerlo en órbita con la tierra.

Los satélites de baja altitud tienen órbitas cercanas a la tierra, viajan aproximadamente a 28,157.68 kilómetros por hora. A esta velocidad se requiere de  $1 \frac{1}{2}$  h para girar alrededor de toda la tierra. Consecuentemente, el tiempo que el satélite esta visible en una estación terrestre en particular, es solamente  $\frac{1}{4}$  h o menos de órbita. Los satélites de altitud media (9,654 a 19,308 kilómetros de altura) tienen un periodo de rotación de 5 a 12 h y permanecen a la vista en una estación terrestre especifica de 2 a 4 h por órbita.

Los satélites geosincronos de alta altitud (30,571 a 40,225 kilómetros de altura) viajan aproximadamente 6,789 millas por hora y tienen un periodo de rotación de 24 h, exactamente el mismo que la tierra. Consecuentemente, permanecen en una posición fija, con respecto a una estación de la tierra especifica y tienen un tiempo de disponibilidad de 24 h.

Cuando el satélite gira en una órbita arriba del ecuador, se llama órbita ecuatorial. Cuando un satélite gira en una órbita que lo lleva arriba del polo norte y sur, se llama órbita polar. Cualquier otro trayecto orbital se llama órbita inclinada.

Un nodo ascendente, es el punto en donde la órbita cruza el plano ecuatorial de sur a norte; un nodo descendente, es el punto en donde la órbita cruza el plano ecuatorial de norte a sur. La línea que une a los nodos ascendentes y descendentes, por el centro de la tierra, se llama línea de nodos.

## 2.6. ANGULOS DE VISTA.

Para orientar una antena desde una estación terrena hacia un satélite, es necesario conocer el ángulo de elevación y azimut. Estos se llaman ángulos de vista.



En la figura 2.3 se muestra el ángulo de elevación y azimut.

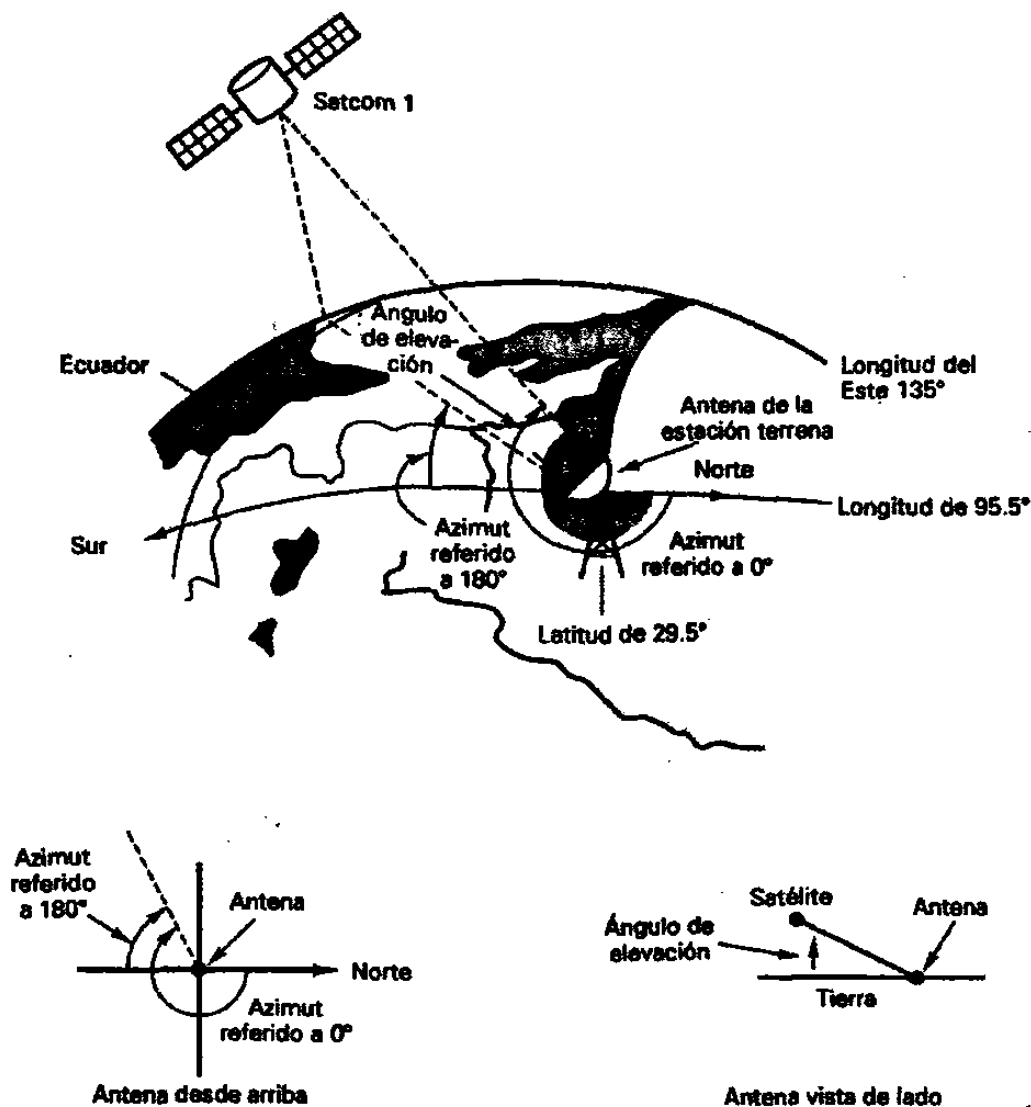


Fig. 2.3 Ángulo de elevación y azimut.

### 2.6.1. ANGULO DE ELEVACIÓN.

Es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal. Entre más pequeño sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia que una onda propagada debe pasar por la atmósfera de la tierra.

Como con cualquier onda propagada a través de la atmósfera de la tierra, sufre absorción y también, puede contaminarse severamente por el ruido. Generalmente,  $5^{\circ}$  es

considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable. La ecuación 2.1 muestra como se determina el ángulo de elevación.

$$Ang.Elev = \text{tg}^{-1} \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|} \quad \text{Ec.2.1}$$

Donde

$$\cos \mu = \cos lat \cos \Delta L$$

### 2.6.2.AZIMUT.

Se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Normalmente se mide en una dirección, según las manecillas del reloj. El ángulo de elevación y el azimut dependen de la latitud y la longitud de la estación terrena, así como el satélite en órbita.

Para un satélite geosíncrono, en una órbita ecuatorial, el procedimiento es el siguiente: De un mapa, se determina la longitud y latitud de la estación terrestre. Se conoce la longitud del satélite de interés. La ecuación 2.2 muestra como se determina el azimut.

$$Azimut = \text{tg}^{-1} \frac{\text{tg } \Delta L}{\text{sen } lat} \quad \text{Ec.2.2}$$

Se calcula la diferencia, en grados( $\Delta L$ ), entre la longitud del satélite y la longitud de la estación terrena. Después se determina el ángulo de elevación y azimut por medio de una gráfica ó de las ecuaciones 2.1 y 2.2.

En la tabla 2.2 se muestra algunos ejemplos de la localización en grados de satélites en la órbita geoestacionaria.

SATELITES	LOCALIZACION (GRADOS)
SPACENET 2	69 W
SATCOM F2	72
GALAXY 6 & SBS-6	74
SATCOM K2	81
TELSTAR 302 & SATCOM K1	85
TELSTAR 402	89
GALAXY 7	91
GALAXY 3	95
TELSTAR 401	97
GALAXY 4	99
GSTAR 1	103
GSTAR 4	105
ANIK E2	107.3
ANIK E1	111.1
SOLIDARIDAD 2	113.5
SATMEX 5	116.8
TELSTAR 303	123
GALAXY 5	125
SATCOM C3	131

TABLA 2.2 Localización de satélites

## 2.7. ESTABILIZACIÓN, ESPACIAMIENTO Y ASIGNACIONES DE FRECUENCIA.

Hay dos clasificaciones para los satélites de comunicaciones: Hiladores (Spinners o contra-rotacionales) y satélites estabilizadores de tres ejes (estabilización por giro o triaxial). Los satélites spinner, utilizan el movimiento angular de su cuerpo giratorio para proporcionar una estabilidad de giro. Con un estabilizador de tres ejes, el cuerpo permanece fijo en relación a la superficie de la tierra, mientras que el subsistema interno proporciona una estabilización de giro.

En la figura 2.4 se muestra un satélite estabilizador de 3 ejes.

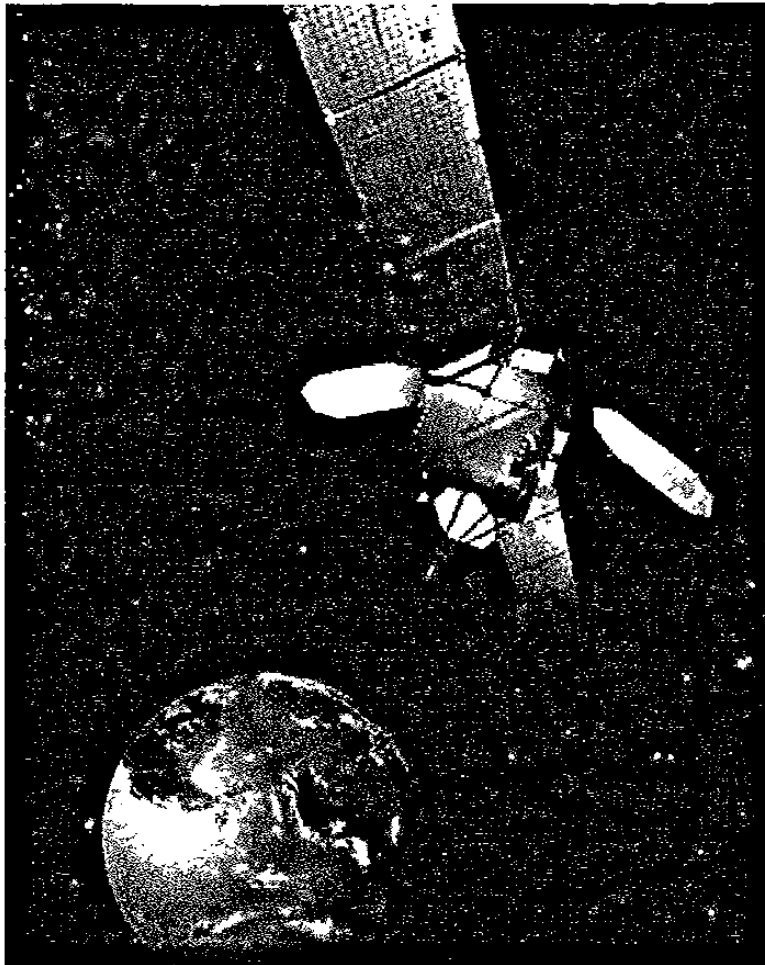


Fig. 2.4 Satélite estabilizador de 3 ejes

Los satélites geosincronos deben compartir un espacio y espectro de frecuencia limitados, dentro de un arco específico, en una órbita geoestacionaria. Cada satélite de comunicación se asigna una longitud en el arco geoestacionario, aproximadamente a 35,880 kilómetros, arriba del ecuador. La posición en la ranura depende de la banda de frecuencia de comunicación utilizada. Los satélites trabajando, en o casi en la misma frecuencia, deben estar lo suficientemente separados en el espacio para evitar interferir uno con otro.

Hay un límite realista del número de estructuras satelitales que pueden estar estacionadas, en un área específica del espacio. La separación espacial requerida depende de las siguientes variables:

- Ancho del haz y radiación del lóbulo lateral de la estación terrena y antenas del satélite.
- Frecuencia portadora de RF.
- Técnica de codificación o de modulación usada.
- Límites aceptables de interferencia.
- Potencia de la portadora de transmisión.

Generalmente, se requieren 3 a 6<sup>o</sup> de separación espacial dependiendo de las variables establecidas anteriormente.

## 2.8. BANDAS COMERCIALES.

Banda C	Up-link	5.925-6.425 GHz.
	Down-link	3.7-4.2 GHz.

Banda Ku	Up-link	14-14.5 GHz.
	Down-link	11.7-12.2 GHz.

Cambio de frecuencia en banda C= 2225 MHz.

Cambio de frecuencia en banda Ku=2300 MHz.

Banda L            Rango: 1.53-2.7 GHz.

Requieren transmisores menos potentes.

Banda Ka            Rango: 18-31 GHz.

Espectro disponible muy amplio, tiene gran ancho de banda; requieren transmisores potentes, alta atenuación por lluvia.

Banda X            Rango: 7.9-8.4 GHz.

Las frecuencias de la portadora, más comunes, usadas para las comunicaciones por satélite, son las bandas 6/4 y 14/12. El primer número es la frecuencia de subida(ascendente) y el segundo número es la frecuencia de bajada(descendente). Diferentes frecuencias de subida y de bajada se usan para prevenir que ocurra retroalimentación.

Entre más alta sea la frecuencia de la portadora, más pequeño es el diámetro requerido de la antena para una ganancia específica. La mayoría de los satélites domésticos utilizan la banda de 6/4 GHz. Desafortunadamente, esta banda también se usa extensamente para los sistemas de microondas terrestres. Se debe tener cuidado cuando se diseña una red satelital para evitar interferencia.

Ciertas posiciones en la órbita geosíncrona tienen más demanda que otras. Por ejemplo, la posición Atlántico-medio que es usada para interconectar a Estados Unidos y Europa es de demanda excepcionalmente alta. La posición de Pacífico-medio es otra.

Las frecuencias son administradas por la WARC (Conferencia de Radio Administrativa Mundial).

## 2.9. PATRONES DE RADIACIÓN: HUELLAS.

El área de la tierra cubierta por un satélite depende de la ubicación del satélite en su órbita geosíncrona, su frecuencia de portadora y la ganancia de sus antenas. Los ingenieros satelitales seleccionan la frecuencia de la portadora y la antena para un satélite, en particular, para concentrar la potencia transmitida limitada en un área específica de la superficie de la tierra. La representación geográfica del patrón de radiación de la antena de un satélite se llama una huella.

Las líneas de contorno representan los límites de la densidad de potencia de igual recepción. En la figura 2.5 se muestra la huella del Satmex 5 en banda Ku.

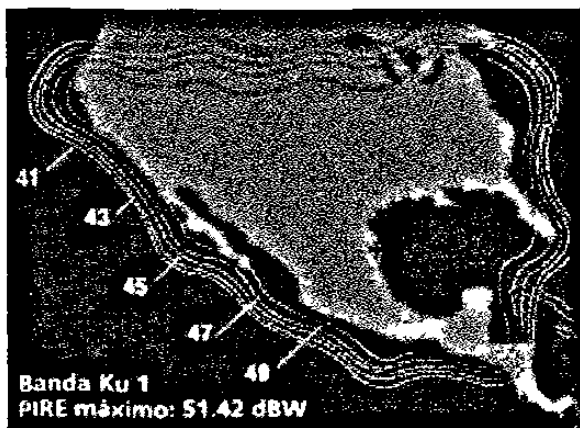


Fig. 2.5 Huella del Satmex 5 en banda Ku.

El patrón de radiación de una antena de satélite se puede catalogar como de punto, zonal o tierra. Los patrones de radiación de las antenas de cobertura de tierra tienen un ancho de haz de casi  $17^\circ$  e incluyen la cobertura de aproximadamente un tercio de la tierra. La cobertura zonal incluye un área menor a un tercio de la superficie de la tierra. Los haces de puntos concentran la potencia radiada en un área geográfica muy pequeña. En la figura 2.6 se muestra la huella general del Satmex.

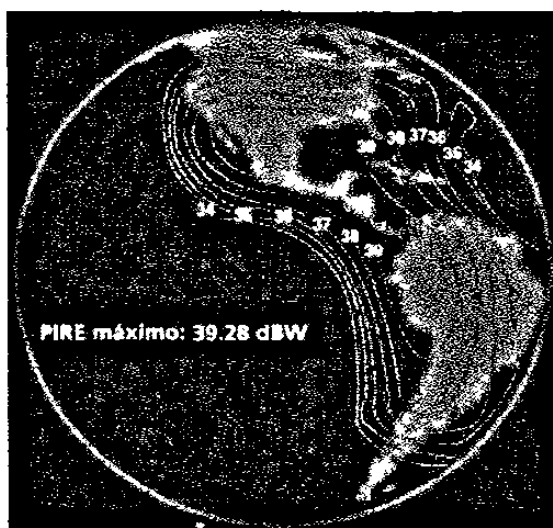


Fig. 2.6 Huella general del Satmex

### 2.9.1.REUTILIZACIÓN.

Cuando se llena una banda de frecuencia asignada, se puede lograr capacidad adicional mediante la reutilización del espectro de frecuencia. Incrementando el tamaño de una antena (incrementando la ganancia de la antena), el ancho de haz de la antena también se reduce. Por lo tanto, diferentes rayos de la misma frecuencia pueden ser dirigidos a diferentes áreas geográficas de la tierra.

Esto se llama reutilización la frecuencia. Otro método para reutilización la frecuencia es usar la polarización dual. Diferentes señales de información se pueden transmitir a diferentes receptores de estaciones terrestres usando la misma banda de frecuencias, simplemente orientando sus polarizaciones electromagnéticas de una manera ortogonal ( perpendicular o a  $90^\circ$  grados).

La polarización dual es menos efectiva debido a que la atmósfera de la tierra tiene una tendencia a reorientar o repolarizar una onda electromagnética conforme pasa. Reutilización es incrementar la capacidad de un ancho de banda limitado.

## 2.10.MODELOS DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL.

Un sistema satelital consiste de tres secciones básicas: una subida, un transponder satelital y una bajada.

### 2.10.1.MODELO DE SUBIDA.

El principal componente dentro de la sección de subida, de un sistema satelital, es el transmisor de la estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia(HPA) y algún medio para limitar la banda del ultimo espectro de salida(un



filtro pasa-bandas de salida). El modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM.

El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite. Los HPA comúnmente usados son tubos de onda progresiva. En la figura 2.7 se muestra el modelo de subida de un enlace satelital.

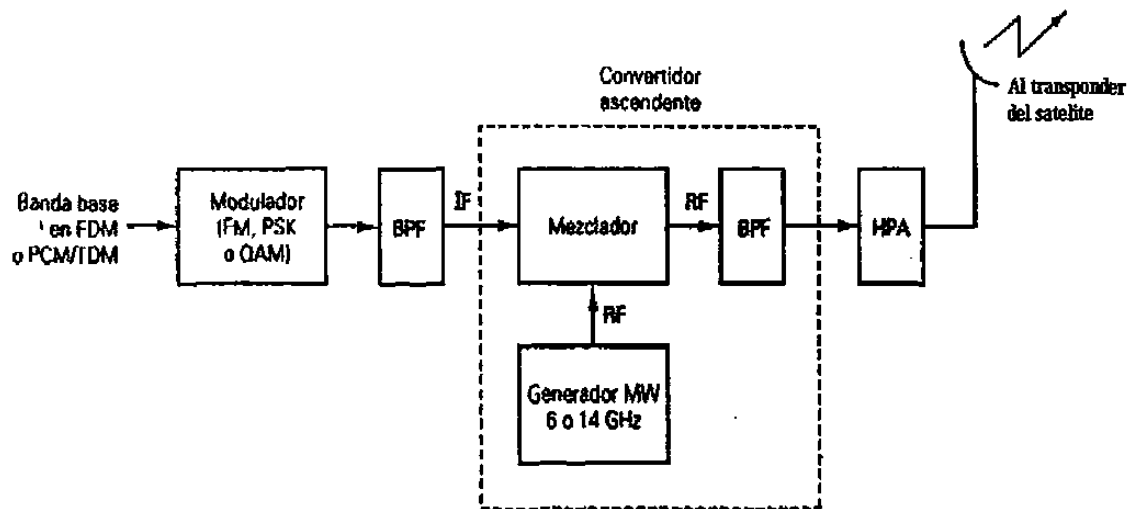


Fig. 2.7 Modelo de subida

### 2.10.2. TRANSPONDER.

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un traslador de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. El transponder es un repetidor RF a RF. Otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas.

El BPF de entrada limita el ruido total aplicado a la entrada del LNA (un dispositivo normal utilizado como un LNA, es un diodo túnel y GaASFET's). La salida del LNA alimenta a un traslador de frecuencia( un oscilador de desplazamiento y un

BPF), que convierte la frecuencia de subida de banda alta a una frecuencia de bajada de banda baja.

El amplificador de potencia de bajo nivel, que es comúnmente un tubo de ondas progresivas, amplifica la señal de RF para su transmisión por medio de la bajada a los receptores de la estación terrena. Cada canal de RF del satélite requiere de un transponder separado. En la figura 2.8 se muestra un transponder típico.

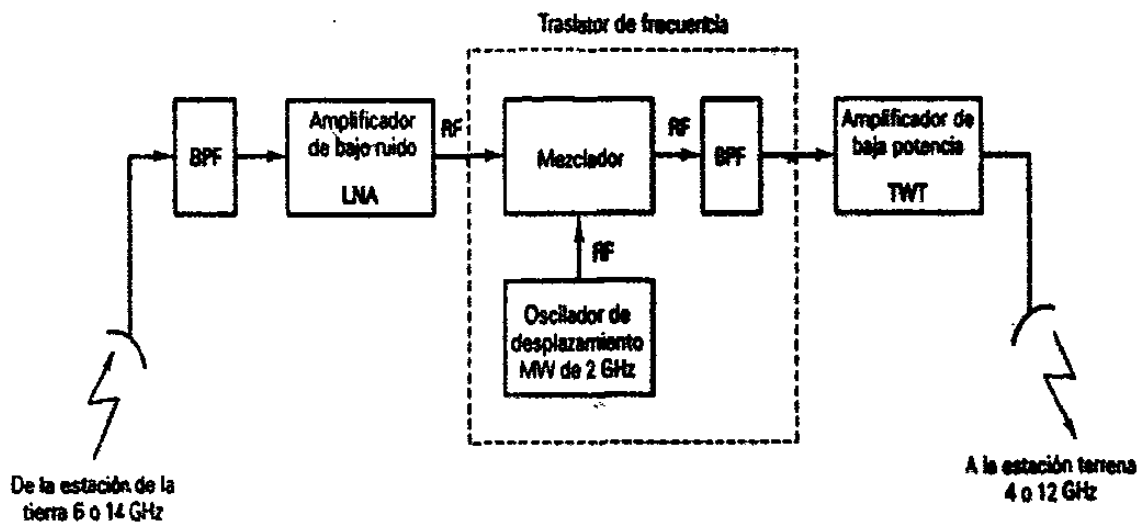


Fig. 2.8 Transponder

### 2.10.3. MODELO DE BAJADA.

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. El BPF limita la potencia de ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido, tal como amplificador de diodo túnel o amplificados paramétrico. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF.

En la figura 2.9 se muestra el enlace de bajada de un sistema satelital.

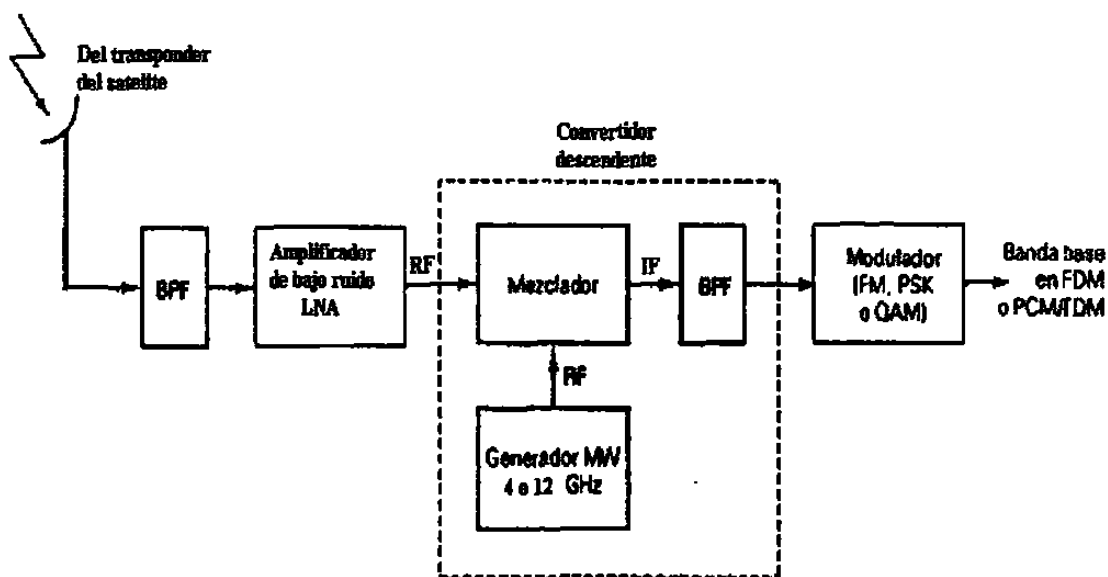


Fig. 2.9 Modelo de bajada.

#### 2.10.4. ENLACES CRUZADOS.

Ocasionalmente, hay una aplicación en donde es necesario comunicarse entre satélites. Esto se realiza usando enlaces cruzados entre satélite o enlaces intersatelitales (ISL). Una desventaja de usar un ISL es que el transmisor y receptor son enviados ambos al espacio. Consecuentemente, la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad de entrada del receptor se limitan.

### 2.11 CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES.

En todo tipo de sistema son básicas las funciones de control y supervisión si se requiere obtener un correcto funcionamiento del mismo.

Particularmente, en un sistema de comunicaciones por satélite estas funciones pueden subdividirse como sigue:

- Telecontrol y telemetría del satélite.

- Pruebas periódicas en órbita de los parámetros principales del módulo de comunicaciones.
- Supervisión de la calidad y características de las señales emitidas a través del satélite.

El conjunto de estas funciones se coordina a través de un Centro de Control, donde se procesa la información en base a la cual se toman las decisiones necesarias para estructurar el sistema y tomar las medidas correctoras que pudieran requerirse.

Todas estas funciones se pueden integrar en una sola estación terrena, simplificándose así el control del sistema a la vez que se evita la duplicidad innecesaria de equipo.

### 2.11.1 PRUEBAS EN ÓRBITA.

Se realizan periódicamente para supervisar las características del módulo de comunicaciones del satélite. Con ellas se trata de obtener información sobre los parámetros que definen los canales repetidores del satélite. Se hacen medidas de los valores especificados que sean importantes para el desempeño del satélite. En general, estos parámetros se subdividen en tres categorías: parámetros de entrada, de salida y de transferencia.

De los aproximadamente 20 parámetros que se deben controlar, se mencionan los siguientes: factor de mérito, densidad de flujo de potencia a la entrada, potencia radiada, estabilidad de frecuencia, características de transferencia y linealidad del repetidor, discriminación en polarización y características de la radiobaliza.

Este tipo de pruebas son necesarias tras la puesta en órbita del satélite para la aceptación del mismo y a fin de establecer las características reales que presenta el módulo de comunicaciones. Posteriormente, a lo largo de la vida del satélite se siguen

realizando periódicamente, o cuando se detecta un fallo o degradación en los repetidores, con el fin de seguir su evolución y comportamiento.

Esta función, por el tipo de medidas que entraña, requiere de una alta precisión de los equipos de medida, así como de una gran interconectividad entre los subsistemas.

## 3. TIPOS DE MODULACION.

### 3.1 CONCEPTO DE MODULACIÓN.

La modulación nace de la necesidad de transportar una información a través del espacio. Este es un proceso mediante el cual dicha información (onda moduladora) se inserta a una portadora.

Técnica empleada para modificar una señal con la finalidad de posibilitar el transporte de informaciones a través de un canal de comunicación y recuperar la señal en su forma original en el otro extremo. Ahora serán posibles dos técnicas para la transmisión de datos: Analógica y Digital.

### 3.2 MODULACIÓN DE AMPLITUD(AM)

Una portadora puede modularse de diferentes modos dependiendo del parámetro de la misma sobre el que se actúe. En la figura 3.1 se muestra una onda portadora.

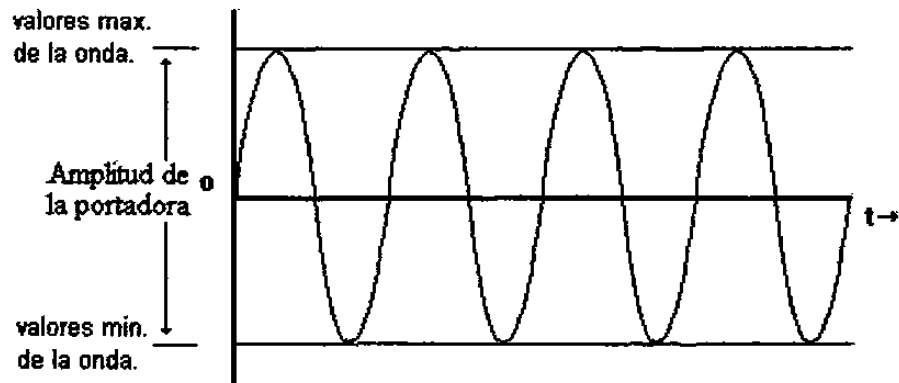


Fig. 3.1 Representación de la Onda Portadora.

Modulación en amplitud (AM) es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información). Las frecuencias que son suficientemente altas para radiarse de manera eficiente por una antena y propagarse por el espacio libre se llaman comúnmente radiofrecuencias o simplemente RF.

Con la modulación en amplitud, la información se imprime sobre la portadora en forma de cambios de amplitud. En la figura 3.2 se muestra una onda modulada en amplitud.

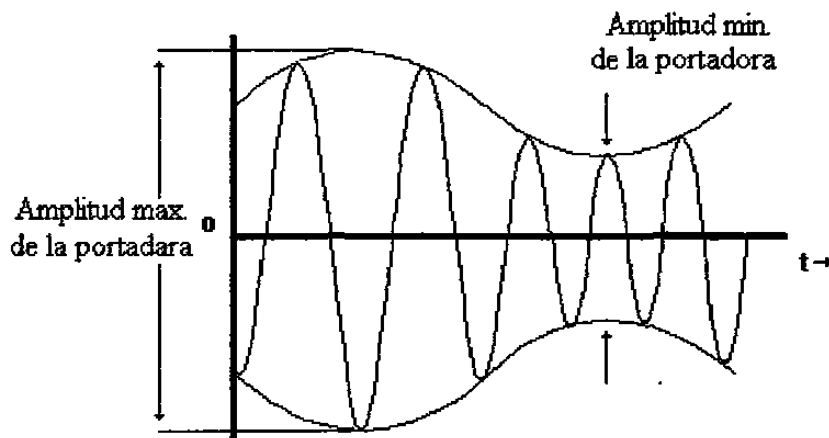


Fig. 3.2 Onda Modulada en Amplitud.

Otra característica de la modulación de amplitud es que, en su recepción, los desvanecimientos de señal no provocan demasiado ruido, por lo que es usado en algunos casos de comunicaciones móviles, como ocurre en buena parte de las comunicaciones entre un avión y la torre de control, debido que la posible lejanía y el movimiento del avión puede dar lugar a desvanecimientos. Sin embargo, la modulación en amplitud tiene un inconveniente, y es la vulnerabilidad a las interferencias.

### 3.3 MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM).

La modulación de amplitud tiene en la práctica dos inconvenientes: por un lado, no siempre se transmite la información con la suficiente calidad, ya que el ancho de banda en las emisiones está limitado; por otra parte, en la recepción es difícil eliminar las interferencias producidas por descargas atmosféricas, motores, etc.

La modulación de frecuencia consiste en variar la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la intensidad de la onda de información. La amplitud de la onda modulada es constante e igual que la de la onda portadora.

La frecuencia de la portadora oscila más o menos rápidamente, según la onda moduladora, esto es, si aplicamos una moduladora de 100 Hz, la onda modulada se desplaza arriba y abajo cien veces en un segundo respecto de su frecuencia central, que es la portadora; además el grado de esta variación dependerá del volumen con que modulemos la portadora, a lo que denominamos “índice de modulación”. En la figura 3.3 se muestra una onda modulada en frecuencia.

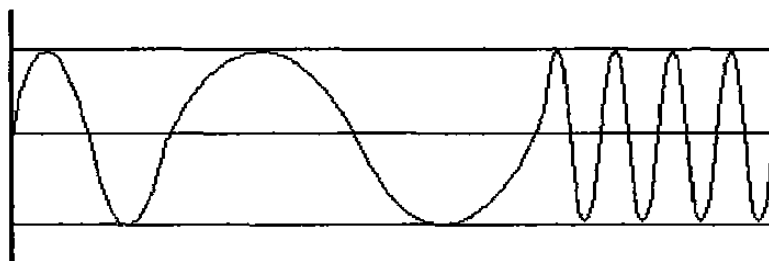


Fig. 3.3 Onda Modulada en Frecuencia.



Debido a que los ruidos o interferencias que se mencionaron anteriormente alteran la amplitud de la onda, no afecta a la información transmitida en FM, puesto que la información se extrae de la variación de frecuencia y no de la amplitud, que es constante.

Como consecuencia de estas características de modulación podemos observar cómo la calidad de sonido o imagen es mayor cuando modulamos en frecuencia que cuando lo hacemos en amplitud o banda lateral. Además sin alterar la frecuencia de la portadora, podemos transmitir señales sonoras o información de otro tipo (datos o imágenes), que comprenden mayor abanico de frecuencias moduladoras, sin por ello abarcar mayor ancho de banda

### 3.4 MODULACIÓN POR PULSOS CODIFICADOS(PCM)

La modulación por pulsos codificados (PCM) es la representación de una señal por medio de una serie de pulsos digitales, primero haciendo un muestreo de la señal, cuantificándola, y después codificándola. Los sistemas de este tipo tienen grandes ventajas técnicas y económicas sobre los sistemas analógicos. La PCM fue inventada en 1937 por A. H. Reeves, un inglés, pero debido a la complejidad de los circuitos no resultó práctica hasta el advenimiento del transistor.

El muestreo de la forma de onda analógica produce un tren de señales con modulación de pulsos en amplitud (PAM). Cada muestra se codifica para formar un número binario que representa su amplitud, se somete a un procesamiento y después se transmite. En ciertos puntos del sistema, las señales digitales se pueden "regenerar" y retransmitir libres del ruido acumulado.

Es en este proceso de regeneración que la PCM presenta ventajas con respecto a los sistemas analógicos. En un sistema analógico, la amplificación de la señal en los repetidores también amplifica el ruido y la diafonía "recogidos" en la sección anterior. En consecuencia, la relación señal-ruido se deteriora gradualmente.

En el caso de la PCM, la señal final de salida no debería contener ningún ruido inducido, independientemente del grado de complejidad del sistema, ya que los regeneradores y el equipo de recepción detectan únicamente la presencia o ausencia de un impulso (véase el nivel de decisión en la Figura 3.4). Los dígitos se descodifican en el receptor y se vuelve a formar una señal analógica.

El procedimiento básico se muestra en la Figura 3.4, en la cual, para mayor claridad, sólo aparece un regenerador.

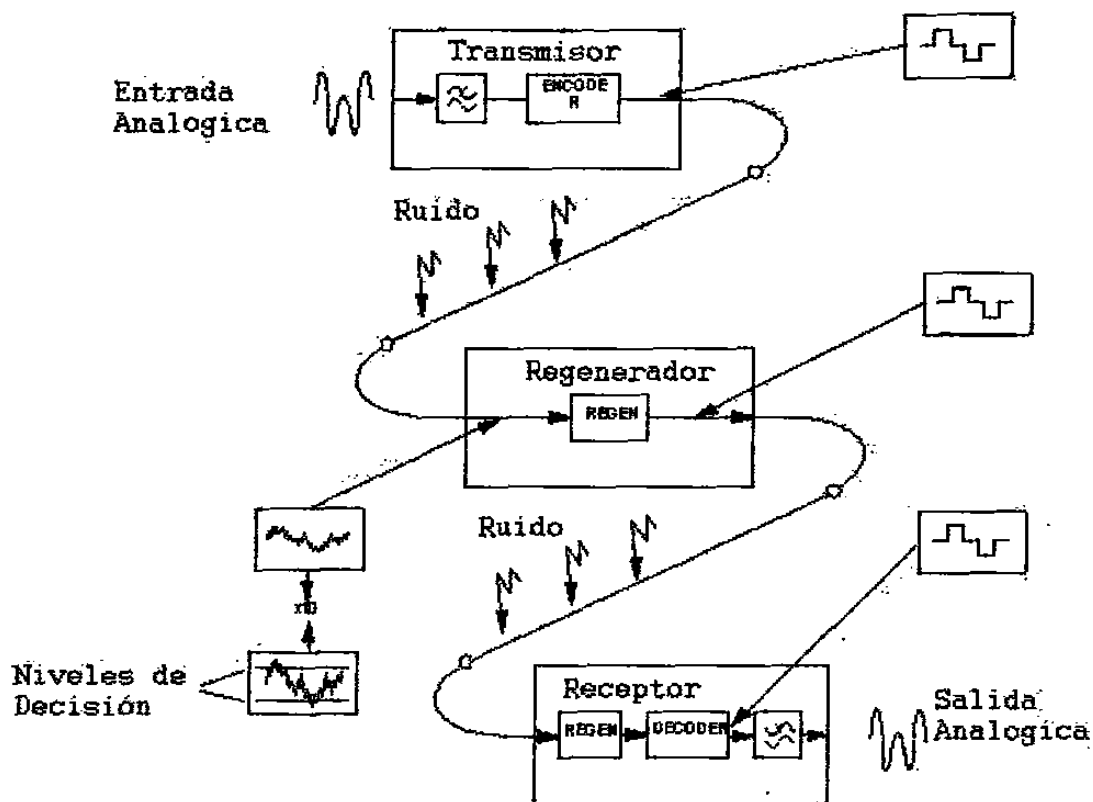


Fig. 3.4 PCM

La modulación por pulsos codificados (PCM), es el formato digital clásico y de uso más difundido, que convierte las muestras cuantificadas en grupos de códigos de pulsos binarios mediante amplitudes fijas. En lugar de transmitir la amplitud exacta de la señal muestreada, solo se admiten ciertos valores discretos del tamaño de la muestra. Luego, una vez efectuado el muestreo en un sistema de modulación de pulsos en amplitud (PAM), se transmite el valor discreto más próximo al verdadero. En el extremo

receptor, el nivel de la señal tendrá un valor ligeramente distinto de cualquiera de los pasos discretos especificados, debido al ruido y a las distorsiones registrados en el canal de transmisión. Si la perturbación es insignificante, se podrá detectar exactamente el valor discreto transmitido y, por lo tanto, será posible reconstruir aproximadamente la señal original. Los sistemas que utilizan códigos para representar valores de señal discretos (muestras) se denominan sistemas de modulación por pulsos codificados. En general, un grupo de pulsos interrumpidos puede representar  $2^n$  valores discretos de muestreo. En el caso de un códec lineal con  $n$  dígitos binarios por muestra, la relación potencia de señal/potencia de distorsión de cuantificación (S/D) varía como sigue:

$$S/D = 6n + 1,8 \text{ dB}$$

Esta relación lineal muestra que cada dígito binario añadido incrementa en 6 dB la relación S/D.

### 3.4.1 CUANTIFICACIÓN

En la práctica, es imposible transmitir información sobre la amplitud exacta de las señales analógicas, ya que sólo se admiten ciertas amplitudes discretas del tamaño de una muestra. Después que la señal analógica es muestreada en un sistema PAM, se transmite el nivel más próximo a la amplitud verdadera. En el extremo receptor se reconstruye la señal a este nivel. Este procedimiento de representación de la señal admitiendo sólo ciertas amplitudes discretas se llama cuantificación. Introduce un error inicial en la amplitud de las muestras, dando lugar al ruido de cuantificación o distorsión de cuantificación.

Siempre que una reducción de la calidad de la línea no impida la adopción de una decisión correcta en cuanto a la presencia o ausencia de un impulso, el proceso de regeneración eliminará el ruido de línea. Por lo tanto, el único ruido presente en la señal reconstruida en el extremo receptor será el ruido de cuantificación. En consecuencia, en los sistemas de transmisión de señales cuantificadas, el ruido máximo se selecciona

intencionalmente, mientras que en los sistemas analógicos el ruido máximo depende de las características del trayecto de transmisión.

### 3.4.2 PCM ADAPTABLE (APCM)

En la PCM normal, la S/D puede ser más aceptable en una amplia gama de potencias de señal y la magnitud del paso de cuantificación se vuelve más o menos proporcional a la amplitud de la señal. En cambio los sistemas PCM adaptables utilizan un cuantificador lineal cuyo paso se ajusta en el tiempo para que corresponda a las estadísticas a corto plazo de la señal. De hecho, el codificador funciona con una S/D de cresta instantánea.

Una aplicación práctica de la APCM es la compansión casi instantánea (NIC), que es compatible con la PCM de ley A de 13 y 15 segmentos, y con la  $\mu$ -255.

### 3.4.3 MODULACIÓN DELTA

Existen varias alternativas a la modulación convencional por pulsos codificados, la mayoría de las cuales producen velocidades binarias inferiores a 64 kbit/s para cada canal de voz, y por lo tanto se conocen comúnmente como codificación a baja velocidad (LRE). Una de ellas es la modulación delta.

La modulación delta es uno de los métodos para codificar una señal analógica, convirtiéndola en un tren de bits digital.

La modulación delta es sólo uno de un grupo de códigos diferenciales, con los cuales se transmite la diferencia entre dos señales, en vez de una serie de muestras de señales codificadas. Aunque la modulación delta tiene algunos usos militares y comerciales, el código diferencial más común que probablemente encontraremos en la mayoría de las estaciones de INTELSAT se llama modulación diferencial adaptable por pulsos codificados (ADPCM).

### 3.4.4 MODULACIÓN DIFERENCIAL ADAPTABLE POR PULSOS CODIFICADOS (ADPCM).

La ADPCM es un código reconocido por INTELSAT y el UIT-T como método para duplicar, como mínimo, el número de usuarios analógicos en la mayoría de los enlaces digitales, y comúnmente se usa con equipo digital de multiplicación de circuitos.

El principio en que se basa la ADPCM consiste en tomar palabras de ocho bits producidas en forma convencional, que representan muestras codificadas de señales analógicas, y comparar cada una de ellas con una estimación de lo que será esa palabra de ocho bits. La diferencia entre estas dos señales (la real y la estimada) es lo que se transmite. Siempre que la estimación sea suficientemente buena, la diferencia entre ambas palabras de ocho bits será poca. En consecuencia, se necesitan menos de ocho bits para representar cada señal de tráfico.

### 3.5 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (FSK).

La modulación por desplazamiento de frecuencia, es una forma de modulación digital de bajo rendimiento. El FSK binario es una forma de modulación angular de amplitud constante, similar a la modulación en frecuencia convencional, excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varia, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua. La expresión general para una señal FSK binaria se muestra en la ecuación:

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

donde

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

$V_c$  = amplitud pico de la portadora no modulada.

$\omega_c$  = frecuencia de la portadora.

$V_m(t)$ = señal modulante digital binaria.

$\Delta w$ = cambio en frecuencia de salida.

Con FSK binario, la frecuencia central o de portadora se desplaza, por los datos de la entrada binaria. La salida de FSK se desplaza entre dos frecuencias: una frecuencia de marca o de 1 lógico y una frecuencia de espacio o de 0 lógico. En la modulación digital, la razón de cambio en la entrada del modulador se llama razón de bit y tiene las unidades de bits por segundo(bps). La razón de cambio en la salida del modulador se llama baudío o razón de baudío y es igual al recíproco del tiempo de un elemento de señalización de salida. En la figura 3.5 se muestra una señal de FSK.

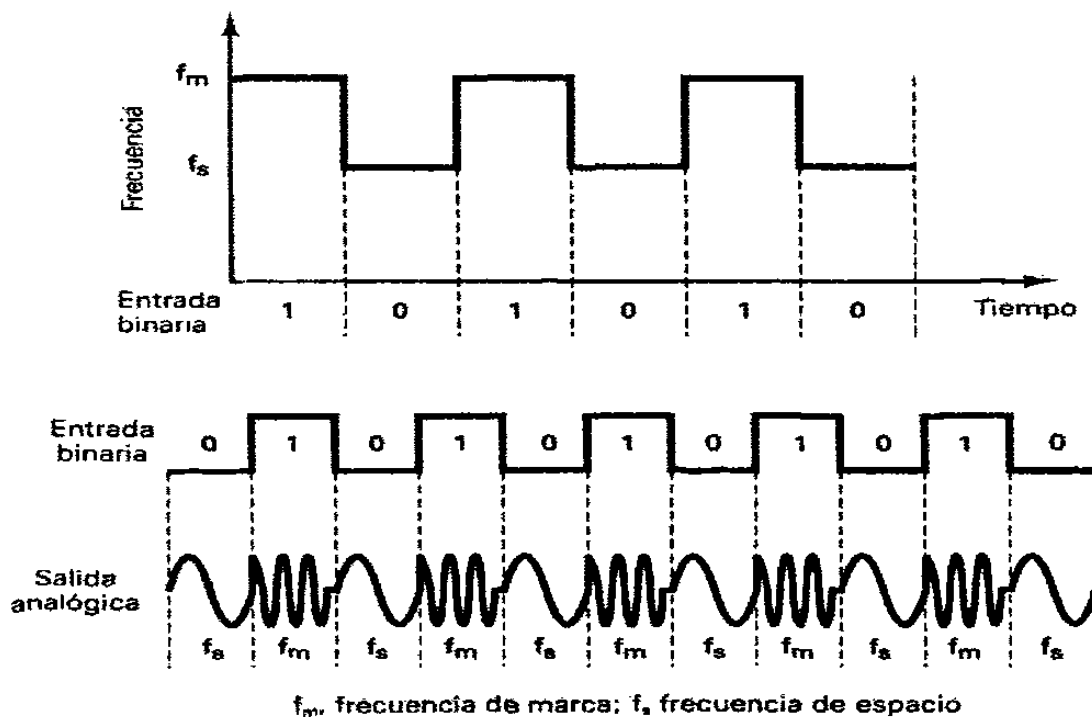


Fig. 3.5 Señal FSK.

### 3.6 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE (PSK).

La mayoría de las formas de modulación usados en la comunicación de los satélites son los esquemas de M-PSK, donde  $M = 2^b$ , y donde usualmente es escogido  $b \approx 1,2$  o 3. En la modulación M-PSK, la información de entrada binaria es primeramente

dividida en bloques de  $b$ - bits. Entonces cada bloque es transmitido como uno de los  $M$  posibles símbolos, cada uno esta siendo llevado por una señal portadora senoidal teniendo uno de las  $M$  posibles valores de fase.

Los más importantes esquemas de modulación M-PSK para satélites de comunicación son los siguientes: BPSK, QPSK y 8-PSK.

### 3.6.1.PSK BINARIO.

Generalmente referido como BPSK ó 2-PSK, en el cual  $M = 2$ . En este caso, un dato de entrada binario modula a una amplitud constante y portadora de frecuencia constante en el cual hay dos valores de fase diferidos en  $180^\circ$  representados en un símbolos binarios de 0 y 1 respectivamente. Un símbolo BPSK puede ser escrito

$$s(t) = v(t) (A \cos w_c t)$$

Donde  $v(t)$  es una onda de pulso de banda base con no retorno a cero (NRZ) este consiste en un pulso rectangular binario aleatorio tomando valores de  $-1$  o  $1$ , teniendo un periodo  $T_s$ .

### 3.6.2. CUATRO FASES PSK.

Referido como QPSK ( cuadratura de PSK) o 4PSK en el cual la fase de la portadora puede tomar uno de los cuatro valores  $45^\circ$ ,  $135^\circ$   $-45^\circ$  o  $-135^\circ$ . Cada símbolo transmitido representa 2 bits de entrada y se muestra en la tabla 3.1.

Bits de entrada	Fase de salida
0 0	-135
0 1	-45
1 0	+135
1 1	+45

TABLA 3.1 Tabla de Verdad de QPSK.

En la Figura 3.6 se representa el diagrama fasorial de QPSK.

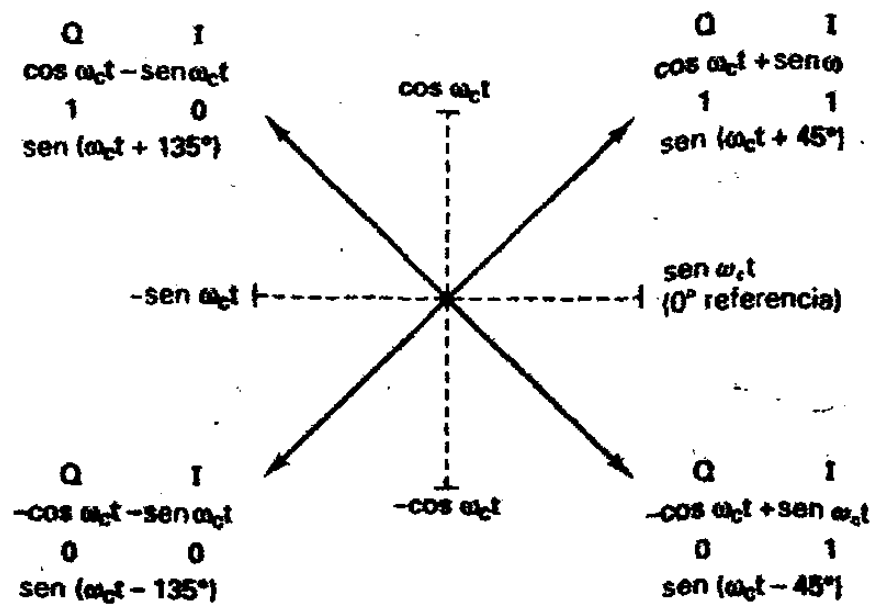


Fig. 3.6 Diagrama Fasorial QPSK

### 3.6.3. OCHO FASES PSK.

Generalmente denotado como 8-PSK, en el cual el símbolo de la portadora transmitida toma uno de los posibles 8 valores, cada uno representa 3 bits de entrada.

En los esquemas de modulación M-PSK, la conversión de símbolos binarios a ángulos de fase son generalmente hechos usando el código Gray.

La idea esencial de la codificación del código Gray es permitir el cambio de un número binario para asignación de número binario para relacionarlos con ángulos de fase.

Esto minimiza el número de bits de error que resulta de un error de modulación. Esto es cuando el ruido origina un incremento en el error, el más probable tipo de error es aquel en que el receptor digital selecciona un símbolo adyacente para corregirlo.



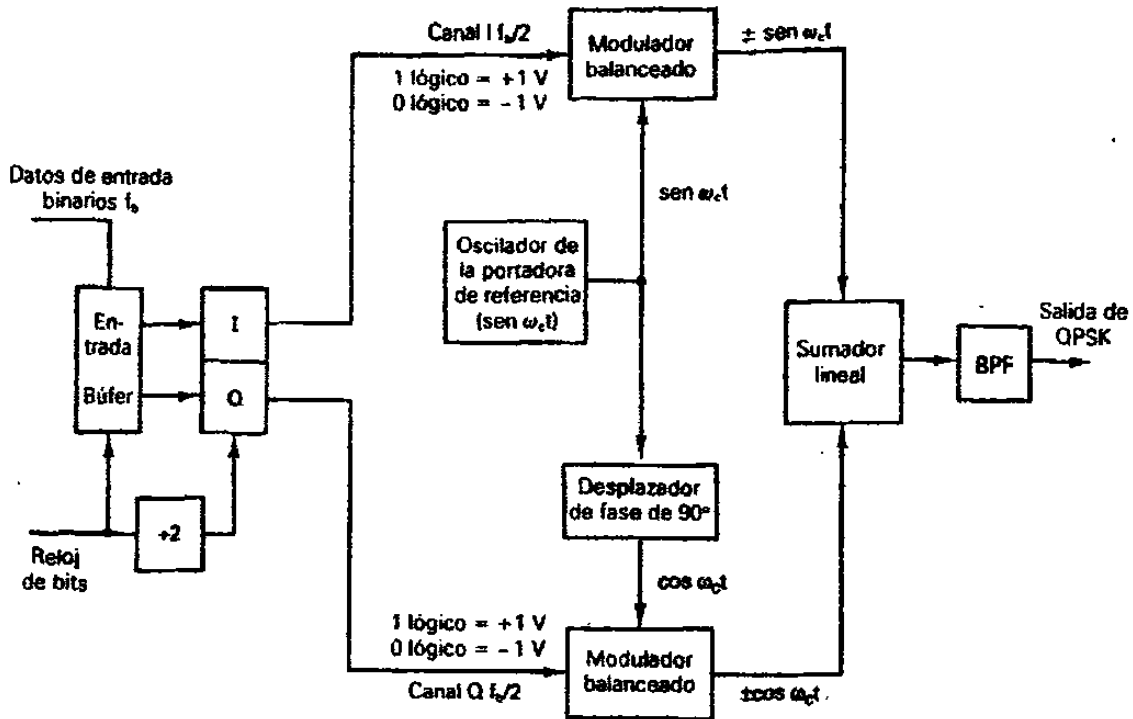


Fig. 3.7 Modulador de QPSK.

La figura 3.7 muestra un diagrama a bloques del modulador en cuadratura. Considerando las funciones requeridas para la modulación QPSK.

El multiplexor convierte la entrada binaria en dos entradas paralelas. La mitad de la señal  $V_I(t)$  y  $V_Q(t)$  referido como señales  $I$  (en fase) y  $Q$  (cuadratura)

### 3.7 MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM)

La Modulación de Amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

### 3.7.1. 8 QAM

El QAM de ocho (8-QAM), es una técnica de codificación M-ario en donde  $M = 8$ . A diferencia del 8-PSK, la señal de salida de un modulador de 8-QAM no es una señal de amplitud constante.

La figura 3.8 nos muestra el diagrama a bloques de un transmisor de 8-QAM, la única diferencia entre el transmisor de 8-QAM y el transmisor de 8-PSK es la omisión del inversor entre el canal C y el modulador de producto Q.

Así como el 8-PSK, los datos que están entrando se dividen en grupos de tres bits: los flujos de bits I, Q, C, cada uno con una tasa de bits igual a un tercio de la tasa de datos que están entrando. Los bits I y Q, determinan la polaridad de la señal PAM, a la salida de los convertidores de nivel 2 a 4, y el canal C determina la magnitud.

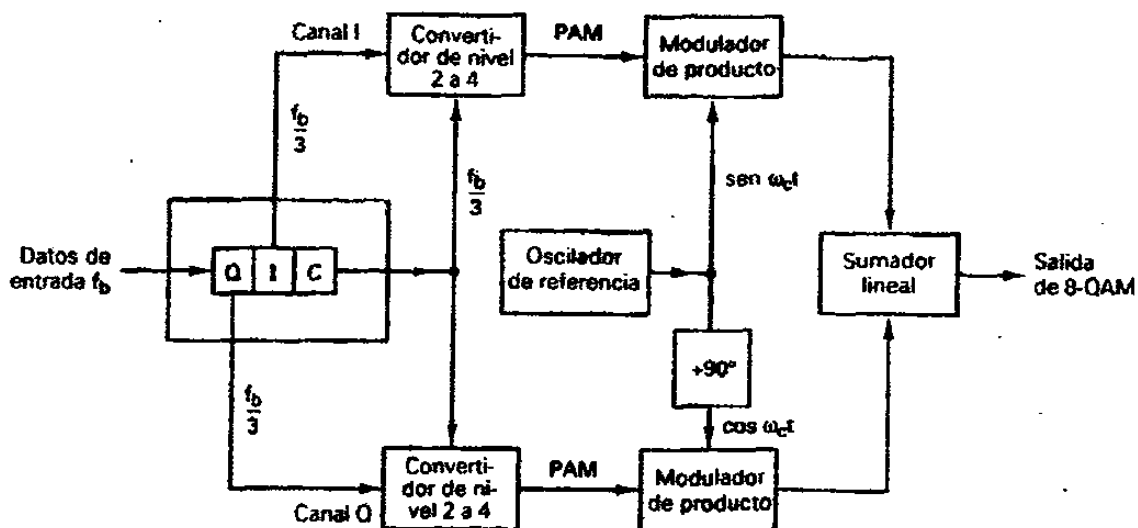


Fig. 3.8 Transmisor de 8 QAM.

Debido a que el bit C se alimenta sin invertir a los convertidores de niveles 2 a canal 4 I/Q, las magnitudes de las señales PAM I/Q, siempre son iguales. Sus polaridades dependen de la condición lógica de los bits I/Q y, por consiguiente, pueden ser diferentes.

Enseguida se muestra la tabla de verdad (Tabla 3.2) para los convertidores de niveles 2 a 4, canal I y Q; son iguales.

I/Q	C	Salida
0	0	-0.541 V
0	1	-1.307 V
1	0	0.541 V
1	1	1.307 V

TABLA 3.2 Tabla de Verdad para Convertidor.

Para los códigos tribit que quedan (001,010,011,100,101,110,111), el procedimiento es el mismo. Los resultados se muestran en la figura 3.9.

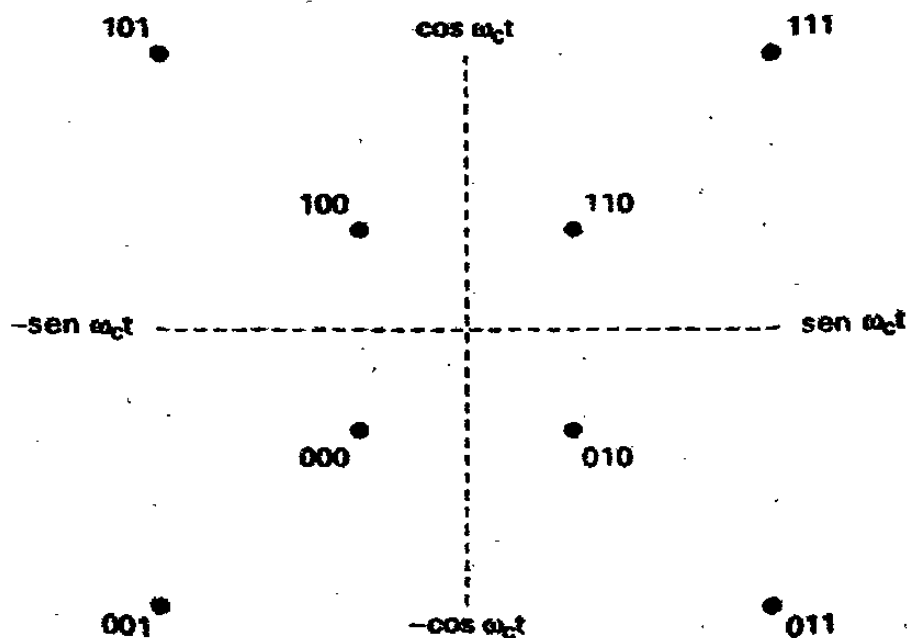


Fig. 3.9 Diagrama de Constelación de 8 QAM.

### 3.8.TÉCNICAS DE MULTIPLEXAJE DIGITAL.

En las secciones anteriores se explicó la forma en que las señales analógicas se convierten en trenes digitales a 64 kbit/s por medio del filtraje, el muestreo, la cuantificación y la codificación.

También se explicó distintas técnicas de codificación, como la modulación delta, que produce velocidades binarias más bajas. En esta sección analizaremos los principios del multiplexaje.

#### 3.8.1.FDM (MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA)

Es una técnica en la cual el espectro de frecuencia se divide en pequeños espectros donde cada usuario posee una banda de frecuencia exclusiva.

#### 3.8.2.TDM (MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO)

Es una técnica de multiplexión en la cual los usuarios tienen a su disposición todo el ancho de banda del canal de transmisión pero en un tiempo limitado.

#### 3.8.3.WDM (MULTIPLEXIÓN POR LONGITUD DE ONDA)

Es una técnica exclusiva de fibras ópticas en la cual el usuario tiene un rango en longitud de onda de todo el ancho espectral de emisión de luz

### 3.9.JERARQUÍAS DIGITALES.

De la misma manera que se combinan grupos en supergrupos a fin de cursar más tráfico en un sistema de una sola portadora analógica, las salidas de los multiplexadores

primarios se combinan en bloques más grandes (a una velocidad binaria mayor) para la transmisión de señales digitales.

### 3.9.1. JERARQUÍA EUROPEA.

Esta jerarquía, generalmente llamada jerarquía de la CEPT (Conferencia de Administraciones Postales y Telecomunicaciones Europeas), está constituida por bloques fundamentales de multiplexadores primarios de 2,048 Mbit/s, y se ilustra en la Figura 3.10. El procedimiento recomendado por el UIT-T consiste en combinar cuatro de estos bloques de 2 Mbit/s en un tren de datos de 8 Mbit/s. Esto se logra extrayendo un bitio por vez de cada entrada de 2 Mbit/s y agregando señales de alineación de trama a fin de obtener una salida de 8,448 Mbit/s. El multiplexador descrito es de segundo orden. Si se necesita más tráfico, se pueden combinar cuatro de estos bloques de 8 Mbit/s para producir un tren de datos de 34 Mbit/s con un multiplexador de tercer orden, y progresivamente de 140 Mbit/s hasta 565 Mbit/s.

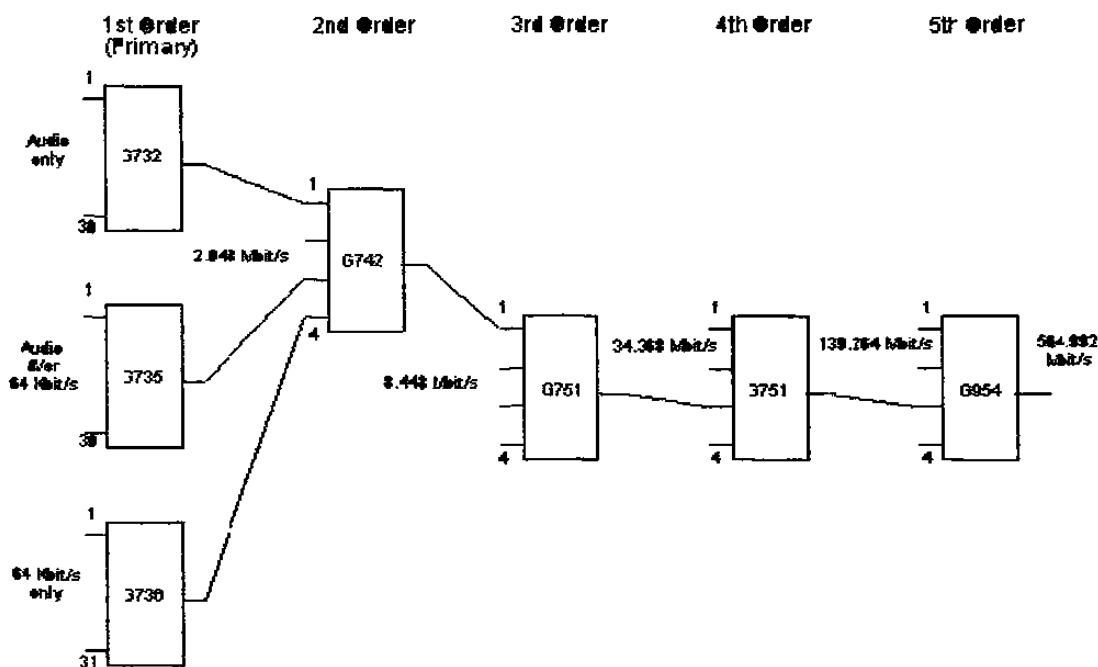


Fig. 3.10 Jerarquía Europea.

### 3.9.2. JERARQUÍA NORTEAMERICANA

Esta jerarquía, que a menudo se conoce con la sigla NAS (Sistema Norteamericano), utiliza como elemento constitutivo fundamental un multiplexador de 1,544 Mbit/s, que se ilustra en la Figura 3.11.

Con un multiplexador de segundo orden se combinan cuatro de estos trenes primarios, produciendo un tren de 6 Mbit/s. La etapa siguiente del multiplexaje consiste en combinar siete de estos afluentes de 6 Mbit/s en un tren de 45 Mbit/s. (Nota: Con frecuencia, un solo aparato hace todo esto, tomando hasta 28 sistemas de 1,544 Mbit/s y combinándolos para producir un tren de 45 Mbit/s).

Por encima de los 45 Mbit/s, actualmente se tiende a combinar tres para producir un tren de 140 Mbit/s, que entonces es idéntico a la jerarquía de la CEPT.

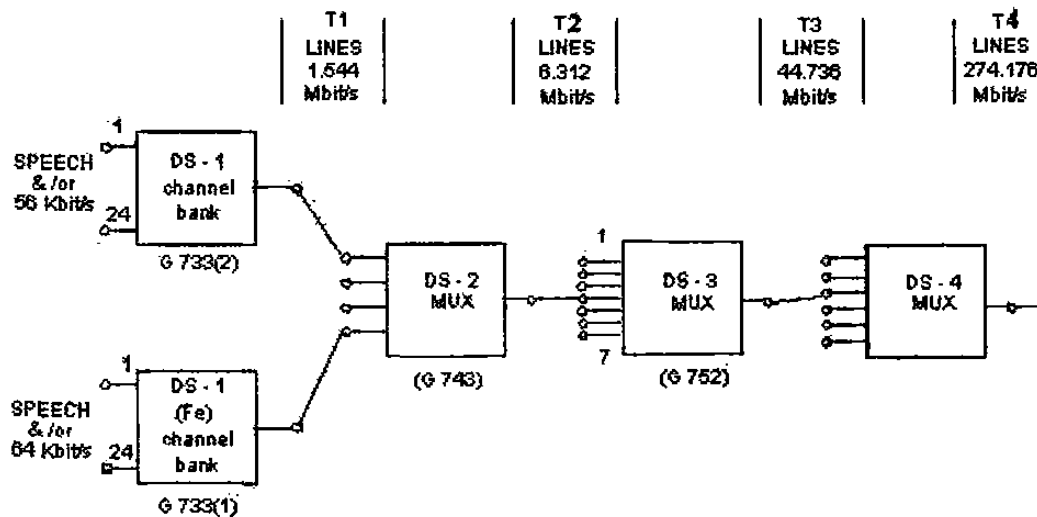


Fig. 3.11 Jerarquía Norteamericana.

### 3.10. TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

Los usuarios de una red internacional de telefonía o datos se comunican entre sí en forma aleatoria. Uno de los problemas de las telecomunicaciones consiste en asignar

canales en una forma suficientemente flexible como para que los usuarios dispongan de un canal cada vez que deseen comunicarse.

Con los sistemas de satélite, el ancho de banda disponible para las comunicaciones es muy limitada. Por lo tanto, para utilizar eficientemente la capacidad del transponder, hay que trabajar de punto a multipunto, técnica que se conoce como acceso múltiple. En la figura 3.12 se muestra los esquemas para acceso múltiple: FDMA, TDMA y CDMA.

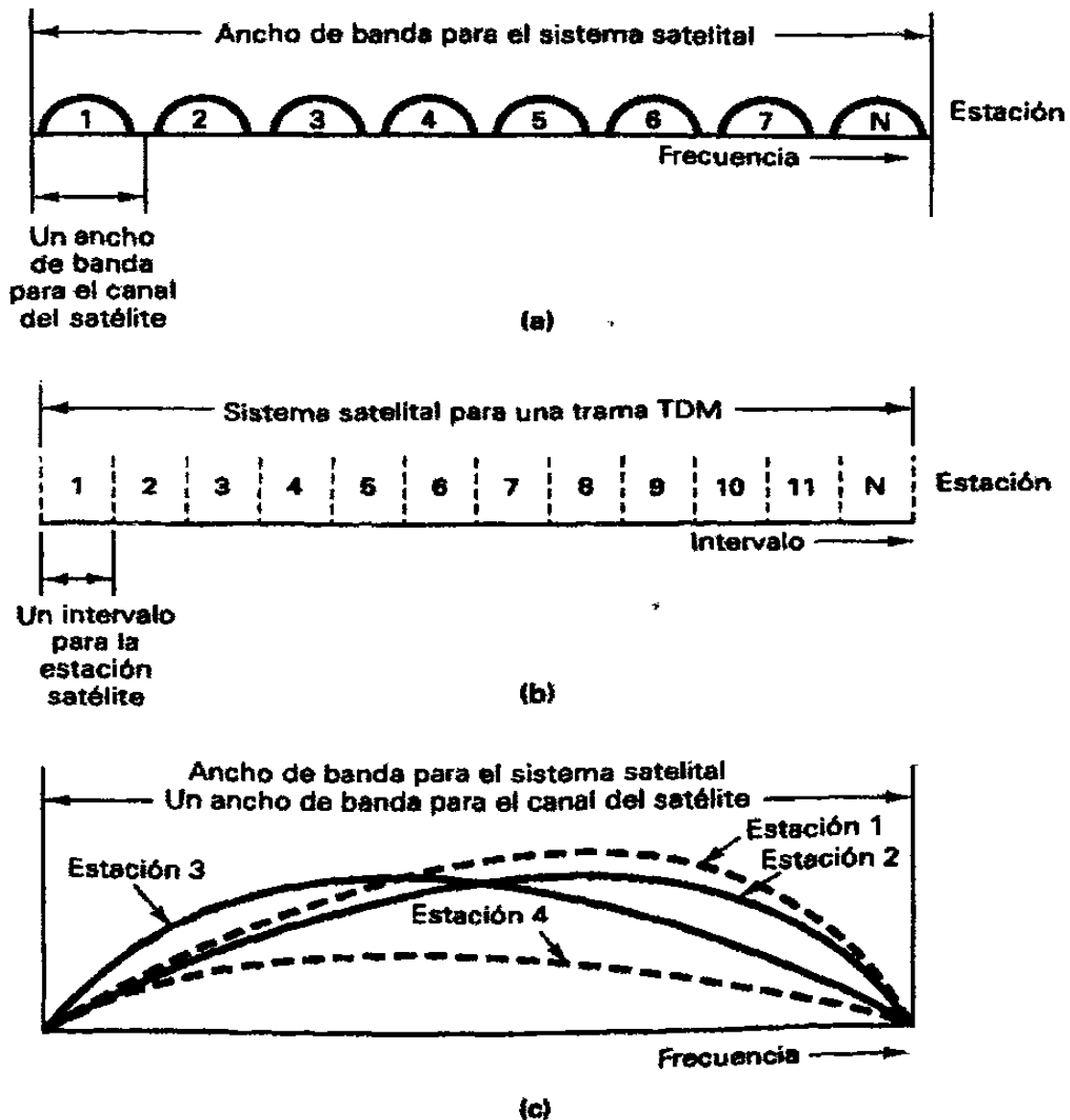


Fig. 3.12 Acceso Múltiple: a) FDMA, b) TDMA y c) CDMA.

### 3.10.1.FDMA - ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.

Toda estación terrena que funcione en esta modalidad tiene que transmitir como mínimo una portadora al satélite. Cada portadora contiene tráfico dirigido a distintos destinos dentro de cada región atendida por el satélite. Estas portadoras multicanales tienen su propia frecuencia radiada preasignada en la banda del enlace ascendente. De ahí el nombre de distribución de frecuencias.

En el enlace descendente, cada estación terrena recibe y desmodula distintas portadoras FDMA provenientes de distintos puntos. De la banda base desmodulada se extrae solamente el tráfico destinado a la estación terrena, haciendo caso omiso del resto (ya que está dirigido a otros puntos de destino).

### 3.10.2.TDMA - ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO.

Con el TDMA se resuelve el problema del ruido de intermodulación inherente al funcionamiento en la modalidad FDMA.

El TDMA se caracteriza por la preasignación de un intervalo de tiempo para el acceso. Cada estación terrena usa la misma frecuencia radiada al satélite; por lo tanto, siempre habrá una sola portadora en el transponder para el caso satelital. Como en todo momento siempre hay una sola portadora funcionando, no existe ruido de intermodulación y se puede cursar más tráfico. Cada "intervalo" o "ráfaga" contiene tráfico dirigido a muchos puntos de destino diferentes.

La asignación de "ráfagas" de intervalos de tiempo de las distintas fuentes se efectúa bajo el control de una estación terrena de referencia (que emplea técnicas de computadora complejas), de manera que el sistema es por necesidad complicado.



### 3.10.3.CDMA - ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO.

También conocida como Acceso Múltiple de Espectro Disperso. Técnica de acceso al satélite mediante la cual la señal es transmitida dentro de un determinado ancho de banda en ciertos periodos de tiempo a través de un código de transformación. CDMA es una forma de espectro expandido de secuencia directa.

## 4. ESPECTRO EXPANDIDO.

### 4.1. CONCEPTO DE ESPECTRO EXPANDIDO.

Las técnicas del sistema de espectro expandido ó disperso, aplicadas en los años recientes, han producido resultados en las comunicaciones, la navegación, y los sistemas de prueba que no eran posibles con los formatos de señales estándares. En muchos usos la llegada de los transistores de alta velocidad y/o de los circuitos integrados son la llave para el equipo basado en la modulación de espectro expandido.

Antes de que procuremos definir un sistema de espectro expandido, estemos seguros que, entendemos qué significa espectro. Cada sistema de transmisión o modulación tiene una forma característica que incluye no solamente la frecuencia en la cual se centra la señal, si no también el ancho de banda de la señal cuando es modulada por la forma de onda de la señal prevista.

Espectro, es la representación del dominio de la frecuencia de la señal y, para nuestros propósitos, especialmente la señal modulada. Por lo regular las señales son presentadas en el dominio de tiempo (es decir, como funciones del tiempo).

Cualquier señal, sin embargo, puede también ser presentada en el dominio de la frecuencia, y la transformada (con operadores matemáticos) está disponible para convertir la función en el dominio de la frecuencia o de tiempo a partir de un dominio a otro y regresar otra vez.

El más básico de estos operadores es la transformada de Fourier, para cual la relación entre el dominio del tiempo y la frecuencia es definida por la ecuación 4.1:

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp - j\omega t dt \quad \text{Ec.4.1}$$

la cuál transforma una función conocida del tiempo a una función de frecuencia. La ecuación 4.2 que representa la función inversa.

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \exp j\omega t d\omega \quad \text{Ec.4.2}$$

La transformada de Fourier no existe para algunas funciones porque ellas requieren la existencia de la integral (ecuación 4.3):

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt \quad \text{Ec.4.3}$$

Por lo tanto la mayoría de las señales no continuas frecuentemente pueden ser transformadas por medio de la integral de Laplace (ecuación 4.4):

$$L(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp - st dt \quad \text{Ec.4.4}$$

En la figura 4.1 se muestra algunas de las transformadas de Fourier que son las más importantes en nuestras consideraciones de los sistemas de espectro expandido.

Literalmente, un sistema de espectro expandido es uno en el cual la señal transmitida se extiende por un ancho de banda, mucho más amplio, en realidad, que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que es enviada. Una

señal de voz, por ejemplo, puede ser enviada con modulación en amplitud en un ancho de banda solamente el doble de la información misma. Otras formas de modulación, tales como desviación baja FM o banda lateral única AM, también permite que la información sea transmitida en una ancho de banda comparable al ancho de banda de la información misma.

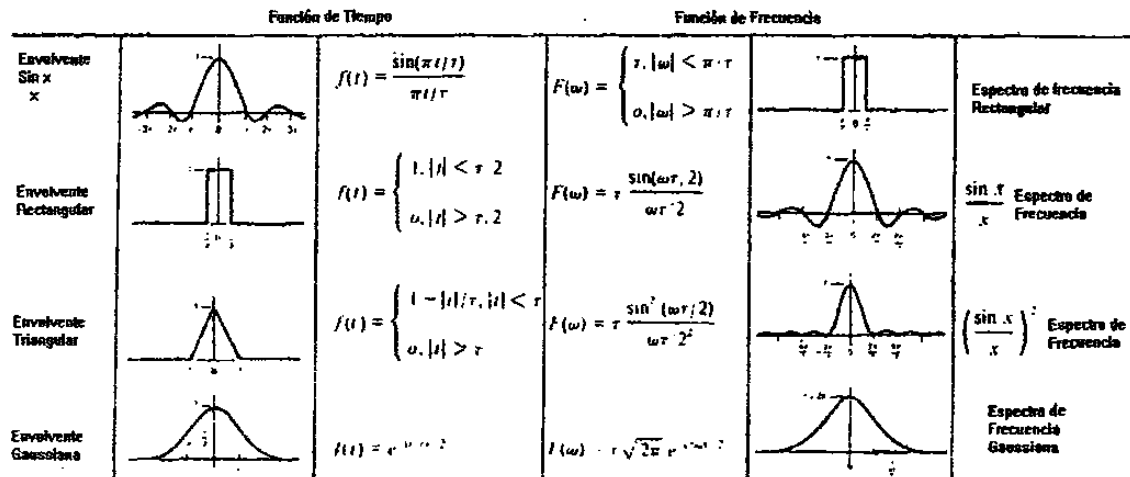


Fig. 4.1 Transformadas de Fourier.

Un sistema de espectro expandido, por otra parte, toma a menudo una señal de banda base (decir un canal de voz) con un ancho de banda de solamente de unos cuantos kilohertz, y la distribuye sobre una banda que pueden ser muchos megahertz de ancho. Esto es realizado modulando la información que se enviará junto con una señal de ancho de banda codificada.

Tres tipos generales de técnicas son aceptados como ejemplos de métodos de espectro expandido:

1. Modulación de una portadora por código de secuencia digital cuya razón de chip es mucho más alta que el ancho de banda de la señal de información. Tales sistemas son llamados sistemas modulados de "secuencia directa".

2. Frecuencia portadora cambiando en incrementos discretos en un patrón dictado por un código de secuencia. Éstos son llamados "salto de frecuencia". El transmisor salta de frecuencia a frecuencia dentro de un cierto sistema predeterminado; la orden del uso de la frecuencia es determinada por un código de secuencia.

3. Pulso FM o modulación "Chirp" en la cual una portadora es barrida sobre un ancho de banda durante un intervalo de pulso dado.

En la figura 4.2 se muestra los espectros de frecuencia típicos de los sistemas de secuencia directa y salto de frecuencia. Estos espectros son a menudo cientos de megahertz de ancho, donde las señales convencionales se limitan generalmente a anchos de banda en el rango de 10-100 kilohertz.

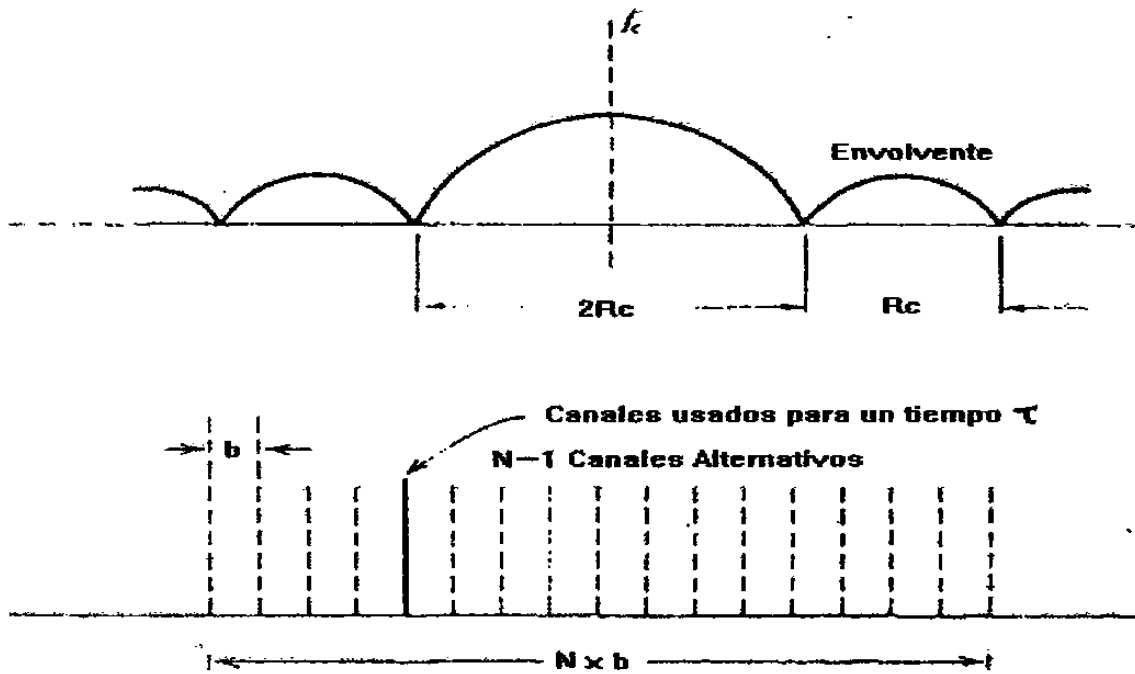


Fig. 4.2 Espectros de Frecuencia Típicos de Secuencia Directa y Salto de frecuencia.

La base de la tecnología de espectro expandido es expresada por C. E. Shannon en la forma de capacidad de canal (ecuación 4.5):

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{Ec.4.5}$$

Donde

C = capacidad en bits por segundo,

W = ancho de banda en hertz,

N = Potencia de ruido,

S = Potencia de la señal.

La ecuación 4.5 muestra la relación entre la capacidad de un canal para transferir la información sin error, comparada con la razón señal a ruido existente en el canal, y el ancho de banda usado para transmitir la información.

Un sistema de espectro expandido, entonces, debe resolver dos criterios:

1. El ancho de banda transmitido es mucho mayor que el ancho de banda o razón de la información enviada.
2. Alguna función diferente a la información que es enviada debe ser empleada para determinar el ancho de banda resultante.

Ésta es la esencia del espectro expandido en la comunicación, el arte de expandir el ancho de banda de la señal, transmitiendo esta señal expandida, y recuperando la señal deseada por "re-mapeando" el espectro expandido recibido dentro del ancho de banda de la información original. Además, en el proceso es posible permitir al sistema entregar la información libre de error en una señal en ambiente ruidoso.

En un mundo rodeado por un espectro limitado de RF para satisfacer las demandas cada vez mayores de los sistemas militares, comerciales y los usuarios privados, la pregunta "porqué espectro expandido" ciertamente se considera válida. Para sistemas de espectro expandido son muchas razones para empezar a tener usos. Algunas de las características que pueden ser citadas son las siguientes:

1. Capacidad de dirección selectiva.
2. Multiplexación por división de código es posible para el acceso múltiple.
3. Espectros de potencia de baja densidad para ocultar la señal.
4. Mensajes ocultos.
5. Sonido de alta resolución.
6. Rechazo de interferencia.

Estas características vienen como resultado del formato de código de señal y del ancho de banda amplio de la señal que resulta. Un solo receptor o grupo de receptores puede ser seleccionados para asignar un código dado de referencia, mientras otros dan

un código diferente. La dirección selectiva puede entonces ser tan simple como transmitir la modulación de secuencia de código apropiada.

En la figura 4. 3 se muestra la diferencia en la densidad de potencia de una señal continua no modulada y la de espectro expandido de una señal típica de secuencia directa.

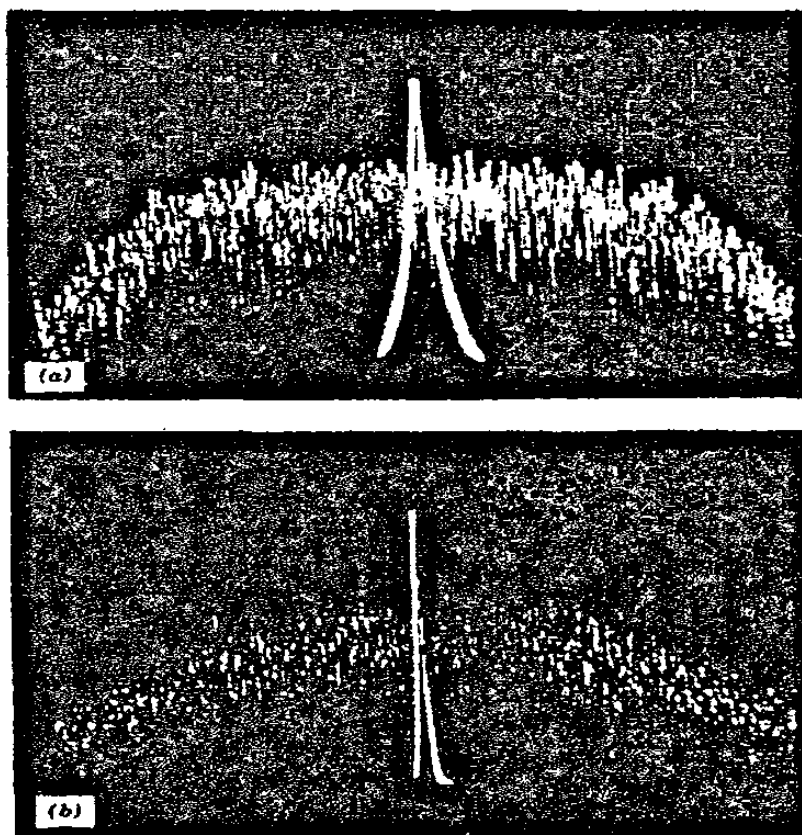


Fig. 4.3 Densidad de Potencia de a)Señal Continua no Modulada y b)Secuencia Directa.

#### 4.1.1 GANANCIA DE PROCESAMIENTO Y MARGEN DE INTERFERENCIA.

El parámetro más común utilizado para describir o especificar el sistema de espectro expandido es la ganancia de procesamiento ( $G_p$ ). La ganancia de procesamiento es calculada con facilidad, si el ancho de banda empleado en un sistema y índice de información es conocido.

La ganancia de procesamiento que debe ser considerada aquí es una personificación de dicho teorema, en la que la señal es expandida y la ganancia de procesamiento producida por la expansión y “des-expansión” es igual a la razón del ancho de banda de RF entre el ancho de banda de la información usados para enviarla.

En el procesador de espectro expandido la ganancia de procesamiento disponible se puede estimar por la ecuación 4.6:

$$Gp = \frac{BW_{RF}}{R_{info}} \quad \text{Ec.4.6}$$

donde el ancho de banda de RF ( $BW_{RF}$ ) es el ancho de banda de la señal transmitida de espectro expandido y índice de información ( $R_{info}$ ) es la razón de datos en el canal de banda base de información.

Margen de interferencia es la cantidad que es generalmente usada con objeto de especificar el sistema de espectro expandido, pero es menos fácilmente predecible el ancho de banda de la información y de la razón de información. Uno puede estar seguro, sin embargo, que el margen de interferencia en cualquier sistema dado es siempre menos que la ganancia de procesamiento disponible de ese sistema.

El margen de interferencia toma en cuenta el requerimiento para una razón señal a ruido útil para la salida del sistema y permite pérdidas internas, esto se representa en la ecuación 4.7 (cuando es expresado en dB),

$$M_i = Gp - \left[ L_{sys} + \left( \frac{S}{N} \right)_{out} \right] \quad \text{Ec.4.7}$$

donde

$L_{sys}$  = pérdidas del sistema implementado.

$(S/N)_{out}$  = razón señal a ruido en la salida de información.



A continuación se describen las dos principales técnicas de espectro expandido, secuencia directa y salto de frecuencia; así como salto de tiempo, sistemas de pulso FM(chirp) y las formas híbridas.

## 4.2 ESPECTRO EXPANDIDO DE SECUENCIA DIRECTA (DSSS).

Los sistemas de secuencia directa (o para ser más exactos, portadora modulada directamente, modulación de código de secuencia) son los mejor conocidos y los más extensamente usados de los sistemas de espectro expandido. Esto es debido a su relativa simplicidad desde el punto de vista que no requieren una alta velocidad, o un sintetizador de frecuencia de ajuste rápido.

La modulación de secuencia directa, es exactamente la modulación de una portadora por un código de secuencia. En el caso general, el formato puede ser AM (pulso), FM, o cualquier otra forma de modulación de amplitud o ángulo. Muy común, sin embargo, es la modulación por desplazamiento de fase binaria  $180^\circ$ , aunque la razón para esto pueda no ser inmediatamente obvia. La forma básica de la señal de secuencia directa es producida por una simple portadora modulada en bifase (PSK). Un espectro típico de este formato de señal se muestra en la figura 4.4.

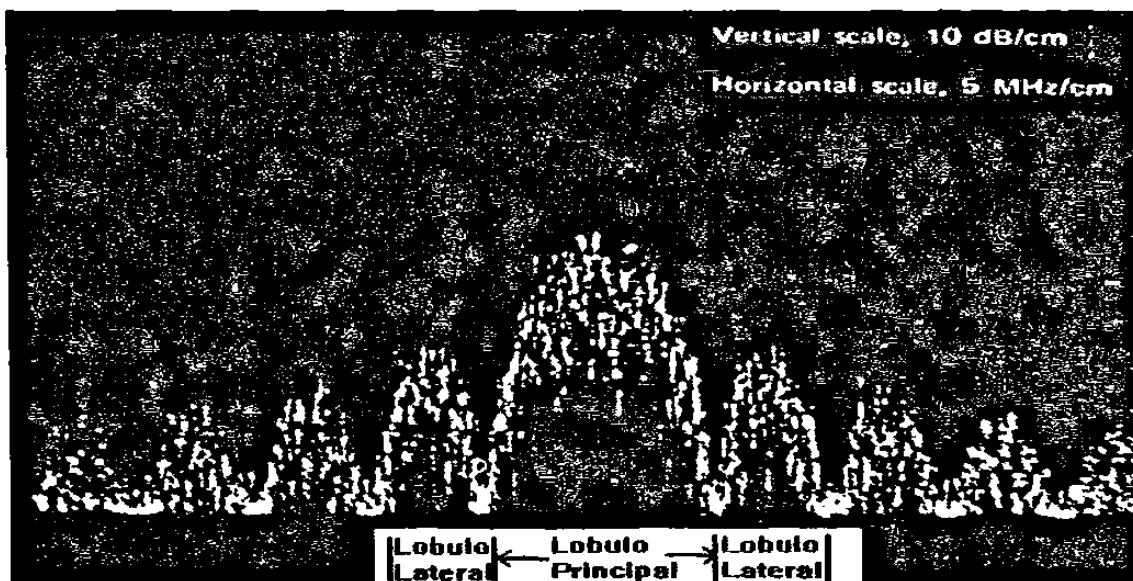


Fig.4.4 Espectro Típico de Secuencia Directa.

El ancho de banda del lóbulo principal (nulo a nulo) de la señal mostrada es dos veces la frecuencia de reloj del código de secuencia usado como señal de modulación. Cada uno de los lóbulos laterales tiene un ancho de banda de nulo a nulo que es igual a la frecuencia de reloj; es decir, si el código de secuencia que es utilizada como una forma de onda de modulación tiene una razón de operación de 5 Mcps( cps= chips por segundo), el ancho de banda nulo a nulo del lóbulo principal es 10 MHz y cada lóbulo lateral es 5 MHz de ancho. Esto es exactamente el caso en la figura 4.4.

Típicamente, el modulador bifásico de secuencia directa tiene la forma mostrada en la figura 4.5, donde un mezclador balanceado cuyas entradas son un código de secuencia y una portadora de RF funciona como el modulador bifásico.

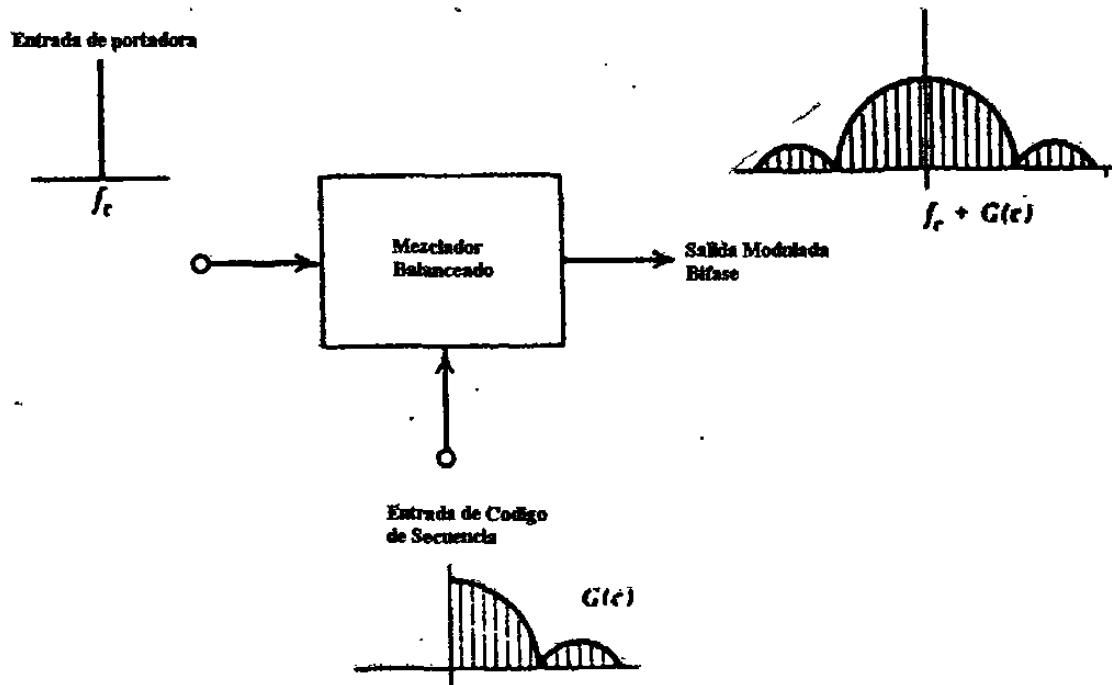


Fig. 4.5 Modulador Bifásico de Secuencia Directa.

En la figura 4.6 se muestra la señal portadora modulada bifase en el dominio del tiempo

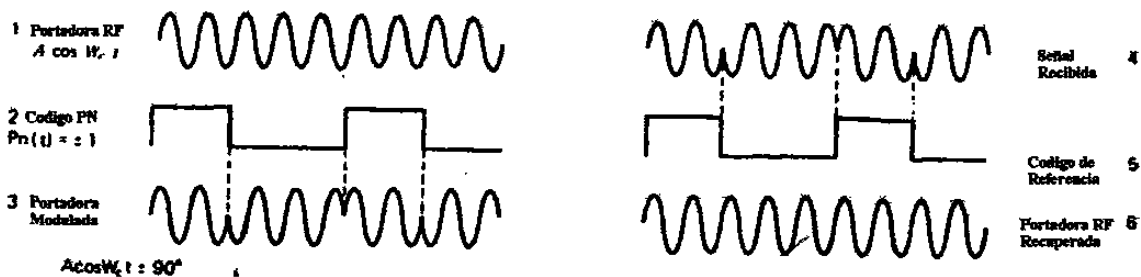
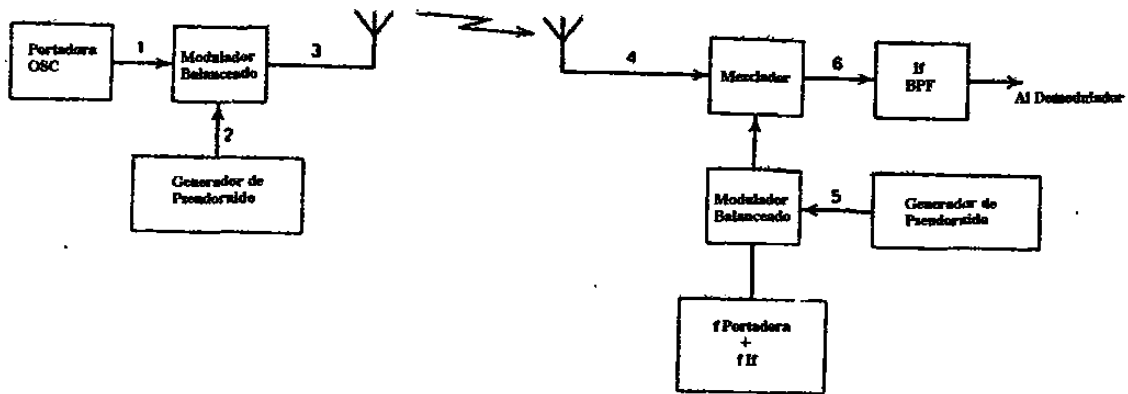


Fig. 4.6 Sistema de Secuencia Directa.

Es útil notar que, aunque otras formas de modulación tales como PAM pueden ser usadas, la modulación balanceada es la más común en sistemas de secuencia directa. Esto es verdad por varias razones:

1. La portadora suprimida producida es difícil de detectar sin recurrir a métodos algo sofisticados. En la figura 4.7 se muestra una señal típica de secuencia directa con supresión de portadora. Es obvio que un receptor convencional no puede ser útil para detectar la portadora aquí porque está debajo del nivel de ruido producido por la modulación de código. Para la comparación, en la figura 4.8 se muestra el mismo modulador pero sin el balance de portadora; por lo tanto, la portadora más larga no es suprimida.

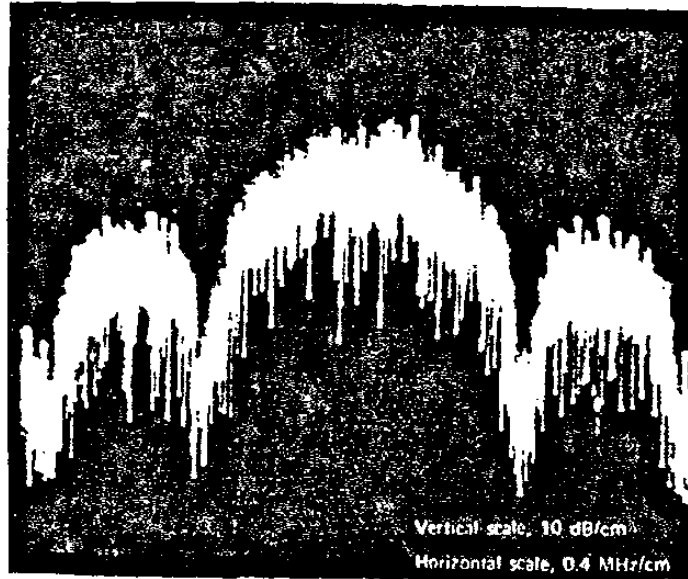


Fig. 4.7 Señal de Secuencia Directa.

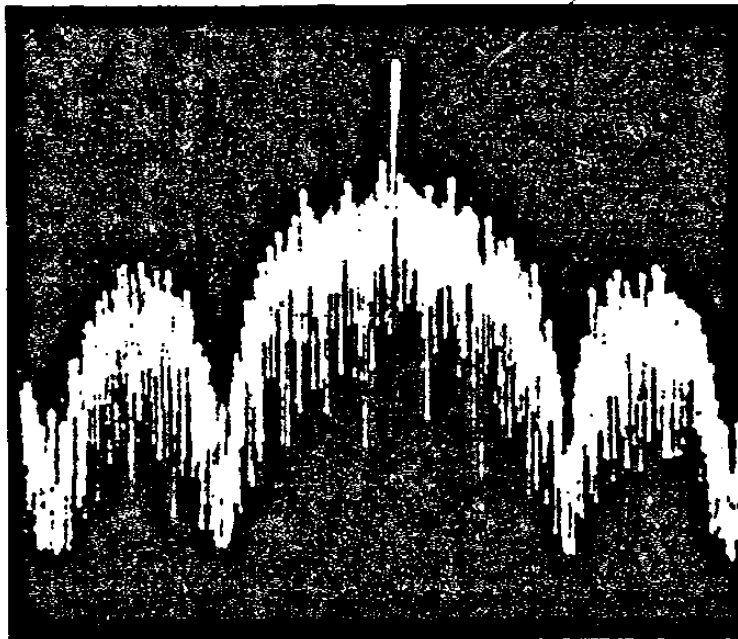


Fig. 4.8 Secuencia Directa sin Balance de Portadora.

2. Más energía está disponible para enviar la información útil porque la potencia transmitida se utiliza para enviar solamente la señal de código producida.

3. La señal tiene un constante nivel envolvente (excepción de AM secundario) para que la potencia eficiente transmitida sea maximizada para el ancho de banda usado.

En la modulación PAM una portadora sería un pulso modulado por un código como se muestra en la figura 4.9. Esto produce un espectro similar a  $[(\sin x) / x]^2$  pero carece de potencia efectiva en el receptor. Así para algunos rangos de operación una potencia de pico más alta puede ser necesaria. PAM tampoco tiene una portadora suprimida.

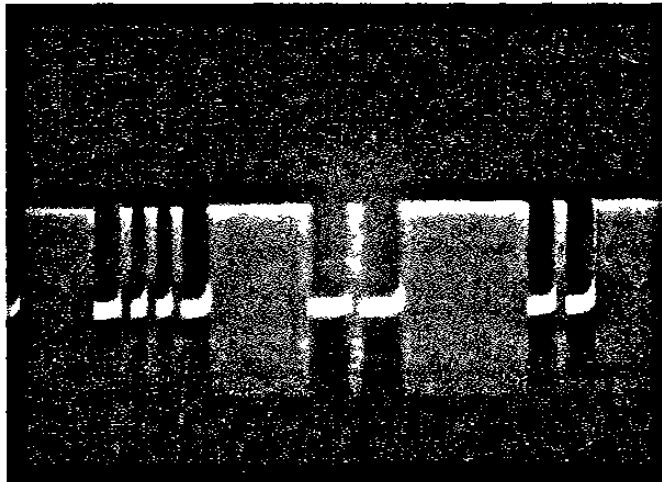


Fig. 4.9 Modulación PAM.

### 4.3 ESPECTRO EXPANDIDO DE SALTO DE FRECUENCIA (FHSS).

Modulación “ Salto de frecuencia” es más precisamente el termino “multifrecuencias, código de selección por multifrecuencias por corrimiento de frecuencia. No es más que FSK (modulación por desplazamiento de frecuencia), excepto que el juego de frecuencias a seleccionar es muy amplio. El FSK a menudo usa solamente dos frecuencias; para ejemplo  $f_1$  se envía para significar una “marca”,  $f_2$  para significar un “espacio”.

Salto de frecuencia, de otra manera, tiene a menudo millares de frecuencias disponibles. Un sistema real tiene 2 frecuencias discretas disponibles, aleatoriamente elegidas, cada una seleccionada en base de un código en combinación con la información transmitida. El número de frecuencias seleccionadas y el índice de salto de frecuencia a frecuencia en cualquier salto de frecuencia es determinado por los requisitos puestos en él para un uso particular.

Un sistema de salto de frecuencia consiste básicamente de un generador de código y un sintetizador de frecuencia capaz de responder al código de salida de un generador de código. El gran reparto de esfuerzo tiene que ser utilizado en el desarrollo en sintetizadores de frecuencia de rápida repuesta para sistemas de espectro expandido.

Idealmente, la salida instantánea de salto de frecuencia es una sola frecuencia. Prácticamente, sin embargo, el usuario del sistema debe estar satisfecho con un espectro de salida que sea un compuesto de frecuencias deseadas, bandas laterales generadas por saltos, y de frecuencias parásitas generadas por productos.

En la figura 4.10 se muestra un diagrama de bloques simplificado de un sistema de transmisión de salto de frecuencia.

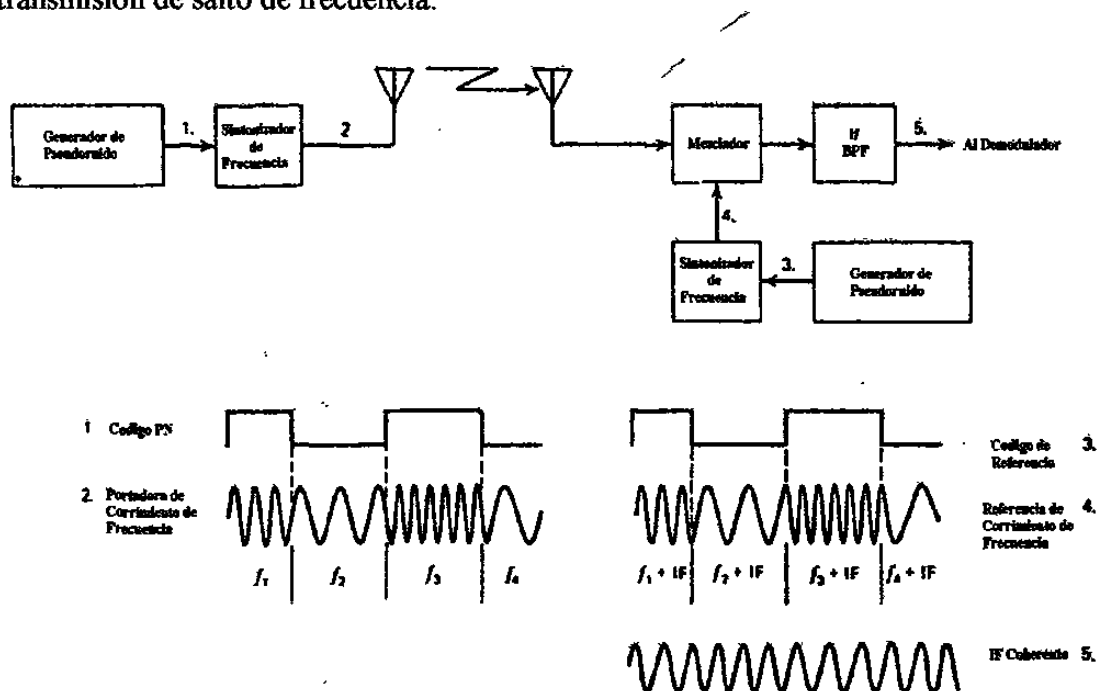


Fig. 4.10 Sistema de Salto de Frecuencia.

El espectro de salto de frecuencia es mostrado en la figura 4.11.

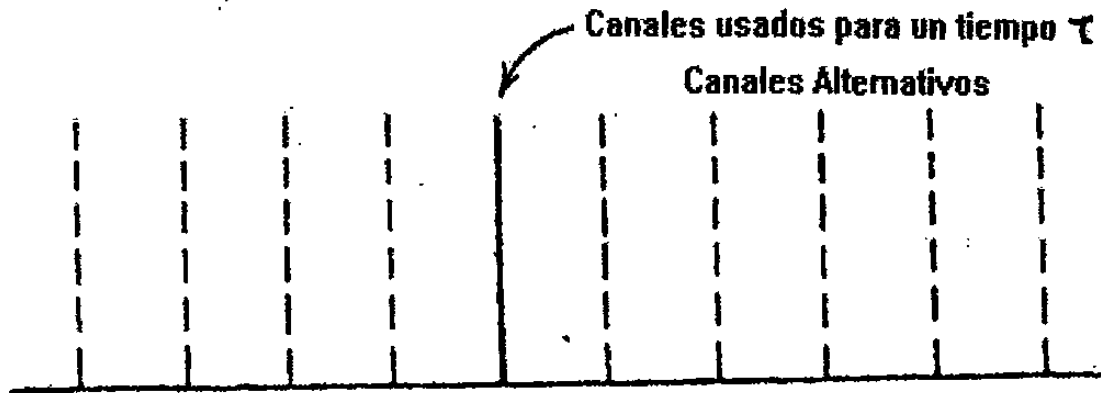


Fig. 4.11 Espectro de Salto de Frecuencia.

Durante un periodo de tiempo, el espectro ideal de salto de frecuencia puede ser perfectamente rectangular, con transmisiones distribuidas uniformemente en cada canal de frecuencia disponible. El transmisor se debe también diseñar para transmitir, a un grado tan cerca como práctico, la misma cantidad de potencia en cada canal.

En la figura 4.12 se muestra un espectro ideal de salto de frecuencia. Este particular espectro puede ser visto de una salto de frecuencia de banda angosta (se muestran solamente 28 frecuencias), de modo que el nivel de salida es plano sobre la banda de salida.

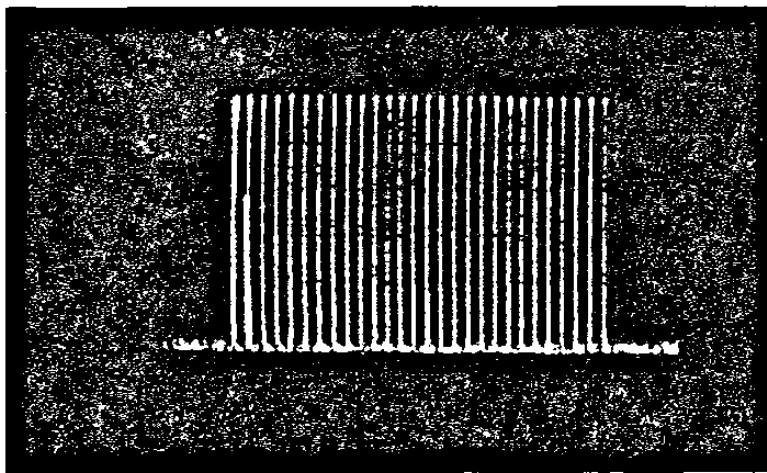


Fig. 4.12 Espectro Ideal de Salto de Frecuencia.

La razón mínima de conmutación de frecuencia usada en un sistema de salto de frecuencia, es determinada por diferentes parámetros:

1. El tipo de información que es enviada y su razón.
2. La cantidad de redundancia usada.
3. Distancia al potencial de interferencia más cercano.

La información en un sistema de salto de frecuencia puede ser transmitida con cualquier manera disponible para otros sistemas. Generalmente, sin embargo, alguna forma de señal digital es usada.

Un sistema de salto de frecuencia debe tener un alto número de frecuencias usadas en demanda. El número requerido es dependiente del rango de error del sistema.

La razón de error para un sistema de salto de frecuencia, en el cual nosotros asumimos que la redundancia binaria FSK es usada ( $f_a$ = marca,  $f_b$ =espacio) puede ser aproximado por la ecuación 4.8 para la extensión binomial acumulativa:

$$P_e = \sum_{x=r}^c \binom{c}{x} p^x q^{c-x} \quad \text{Ec.4.8}$$

donde

$p$  = probabilidad de error para una sola prueba =  $JIN$ ,

$J$  = el número de canales de interferencia,

$N$  = el número de canales disponibles para la salto de frecuencia,

$q$  = probabilidad de ningún error para una sola prueba =  $1 - p$

$C$  = el número de chips( frecuencias enviadas por bit de información).

$r$  = el número de decisiones incorrectas de chip necesarias para causar un error de bit.



#### 4.4 SALTO DE TIEMPO(TH).

El salto de tiempo, en otras palabras, es la conocida modulación de pulsos; esto es, la secuencia de código es usada para afinar el transmisor por intervalos, como en la figura 4.13. Los tiempos por intervalos del transmisor son por lo tanto pseudo aleatorios, como el código, que puede dar una transmisión promedio de ciclo obligado de tanto como 50%. Esta forma de señal, como modulación de espectro expandido, encuentra su mayor aplicación en combinación de salto de frecuencia en sistemas RACEP desarrollados por Martín Marietta Corp.

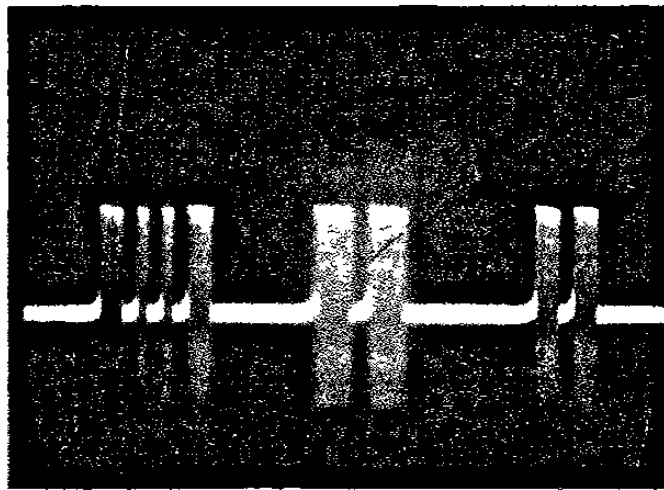


Fig. 4.13 Espectro de Salto de Tiempo.

El punto fino de la diferencia que separa tiempo-frecuencia y la salto de frecuencia es sencillo, es que en los sistemas de salto de frecuencia la frecuencia transmitida se cambia en cada tiempo de código chip, mientras que un sistema de salto de frecuencia puede cambiar la frecuencia y/o amplitud solamente en las transiciones de uno/cero en el código de secuencia.

En la figura 4.14 se muestra un sistema de salto de tiempo en forma de bloque. La simplicidad del modulador es obvia. Cualquier fuente de señal de pulso modulado capaz de seguir la forma de onda de código es elegible para un modulador de salto de tiempo.

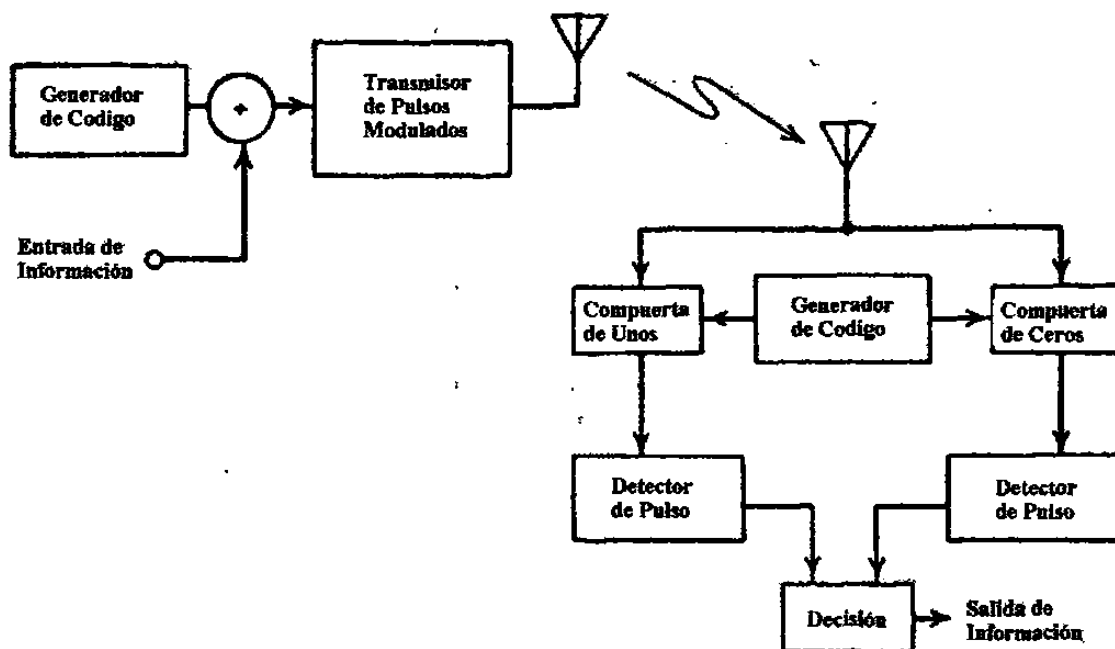


Fig.4.14 Sistema de Salto de Tiempo.

El salto de tiempo puede ser usado para ayudar en la reducción de interferencia entre los sistemas de multiplexación en división del tiempo.

#### 4.5 SISTEMAS DE PULSO FM (CHIRP).

Tipo de modulación de espectro expandido que no emplea necesariamente la codificación sino utiliza un ancho de banda más amplia que el mínimo requerido de modo que pueda realizar la ganancia de procesamiento es la modulación "Chirp". Esta forma ha encontrado su uso principal en el radar, pero es también aplicable a las comunicaciones. Las transmisiones chirp son caracterizadas por señales pulsadas de RF cuyas frecuencias varían de una cierta manera conocida durante cada período del pulso. La ventaja de estas transmisiones para radar es que la reducción significativa de la potencia es posible. El receptor usado para señales chirp es un filtro equilibrado, iguala la razón de cambio angular de la señal de barrido de frecuencia transmitida. La codificación no se utiliza normalmente con este tipo de filtro equilibrado.

La señal de barrido de frecuencia transmitida de la señal chirp es justamente producida por un generador de barrido común de laboratorio, porque la mayoría de los sistemas chirp utilizan un patrón lineal de barrido. Cualquier patrón, conveniente al requerimiento de un filtro del receptor equilibrado debe ser construido. Aquí, sin embargo, consideramos solamente las señales barridas lineales. En la figura 4.15 se ilustra las formas de onda típicas que existen en un sistema Chirp.

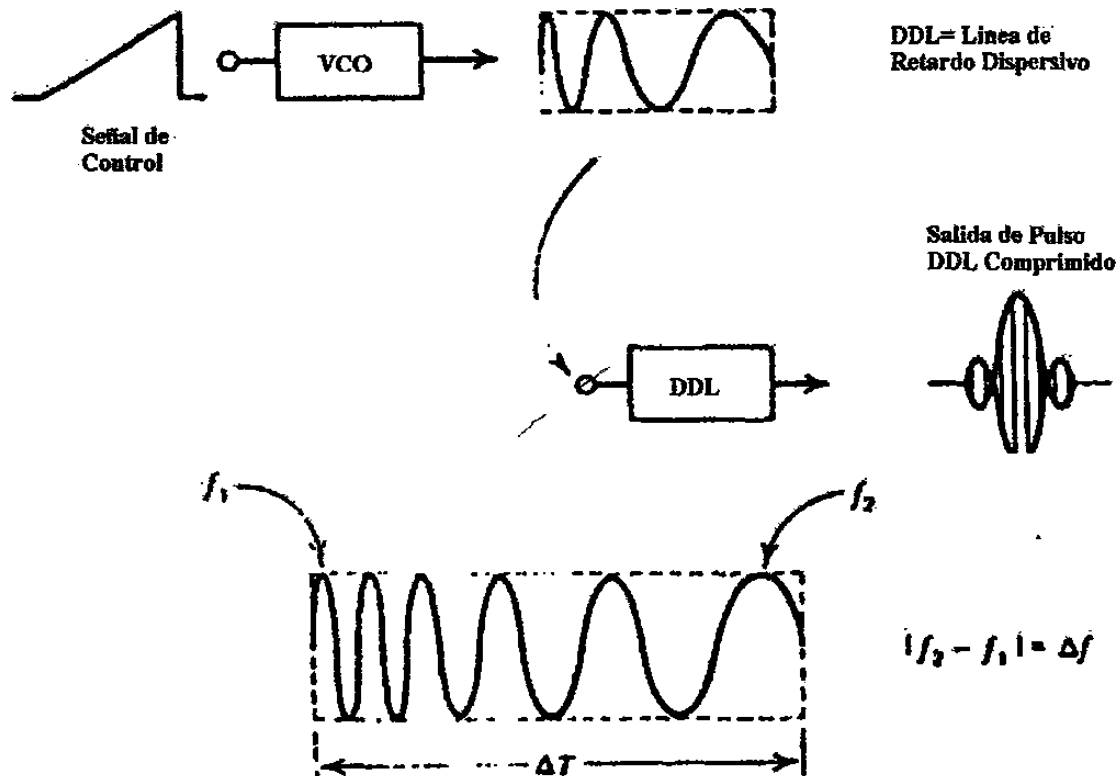


Fig. 4.15 Formas de Ondas Típicas del Sistema Chirp.

## 4.6 FORMAS HÍBRIDAS.

Además de las formas más usuales de modulación de espectro expandido, hay combinaciones híbridas de modulación que ofrecen ciertas ventajas, o amplía por lo menos la utilidad de las técnicas de secuencia directa y salto de frecuencia. Las más frecuentes combinaciones usadas (o híbridos) de señales de espectro expandido se componen:

- 1) Modulación simultánea de salto de frecuencia y secuencia directa

- 2) Salto de tiempo y frecuencia simultaneo
- 3) Modulación simultanea de salto de tiempo y secuencia directa.

La ventaja en combinar dos métodos de modulación de espectro expandido es generalmente que las características pueden ser proporcionadas cuando no son disponibles de un solo método de modulación.

#### 4.6.1 MODULACIÓN DE SALTO DE FRECUENCIA / SECUENCIA DIRECTA.

La modulación de salto de frecuencia / secuencia directa (FH/DS) consiste en una señal modulada de secuencia directa cuyo centro de frecuencia salta periódicamente. En la figura 4.16 se ilustra el espectro de frecuencia de tal modulador. La señal de espectro expandido mostrada se compone de un número de señales de espectro expandido. Una señal de secuencia directa cubriendo una parte de la banda aparece instantáneamente, y la señal entera de DS aparece en otras partes de la banda según lo dictado por el patrón de salto de frecuencia.



Fig. 4.16 Espectro de Frecuencia del Sistema Híbrido FH/DS.

Las señales híbridas de FH/DS se utilizan por varias razones:

- Para ampliar la capacidad del espectro expandido.
- Para el acceso múltiple y la dirección discreta.
- Para multiplexar.

Los transmisores híbridos de FH/DS son superposiciones directas de la modulación de secuencia directa en un portador de salto de frecuencia, según lo

mostrado en la figura 4.17. Este modulador se diferencia de un modulador de secuencia directa simple principalmente en que la frecuencia portadora está variando (saltado).

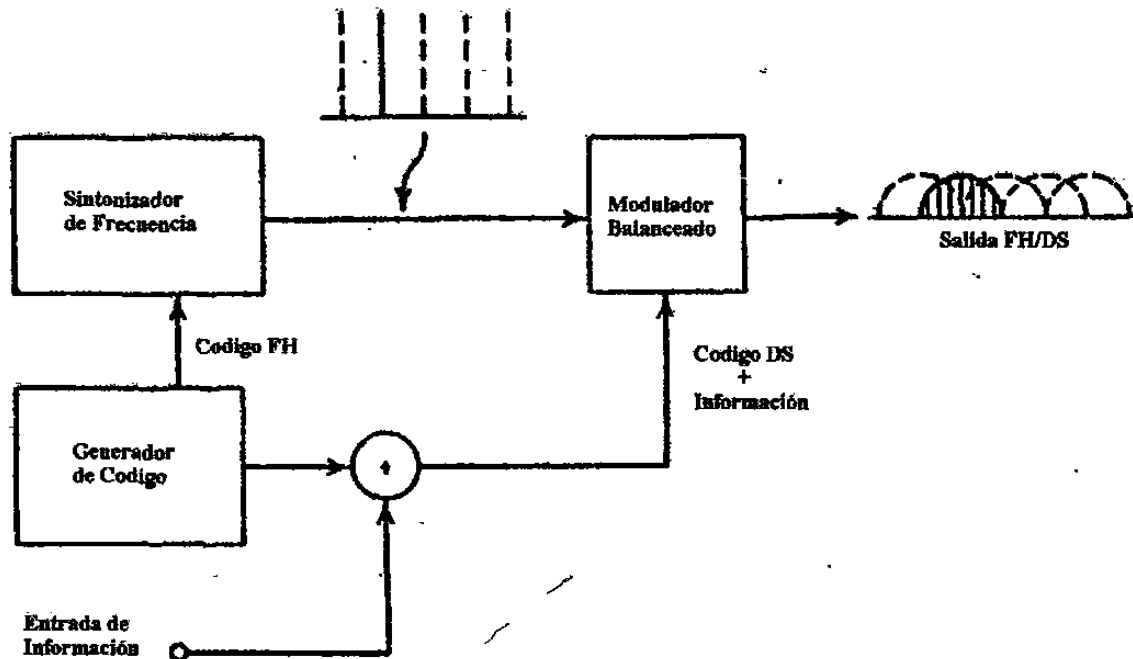


Fig. 4.17 Transmisor Híbrido FH/DS.

En la figura 4.18 se muestra la configuración de un receptor típico FH/DS en el cual el generador local de referencia es esencialmente una replica del modulador que transmite, con dos excepciones:

- 1) la referencia local de la frecuencia central es compensada con una cantidad igual en el IF y
- 2) el código DS está sin modificar por la entrada de la banda base.

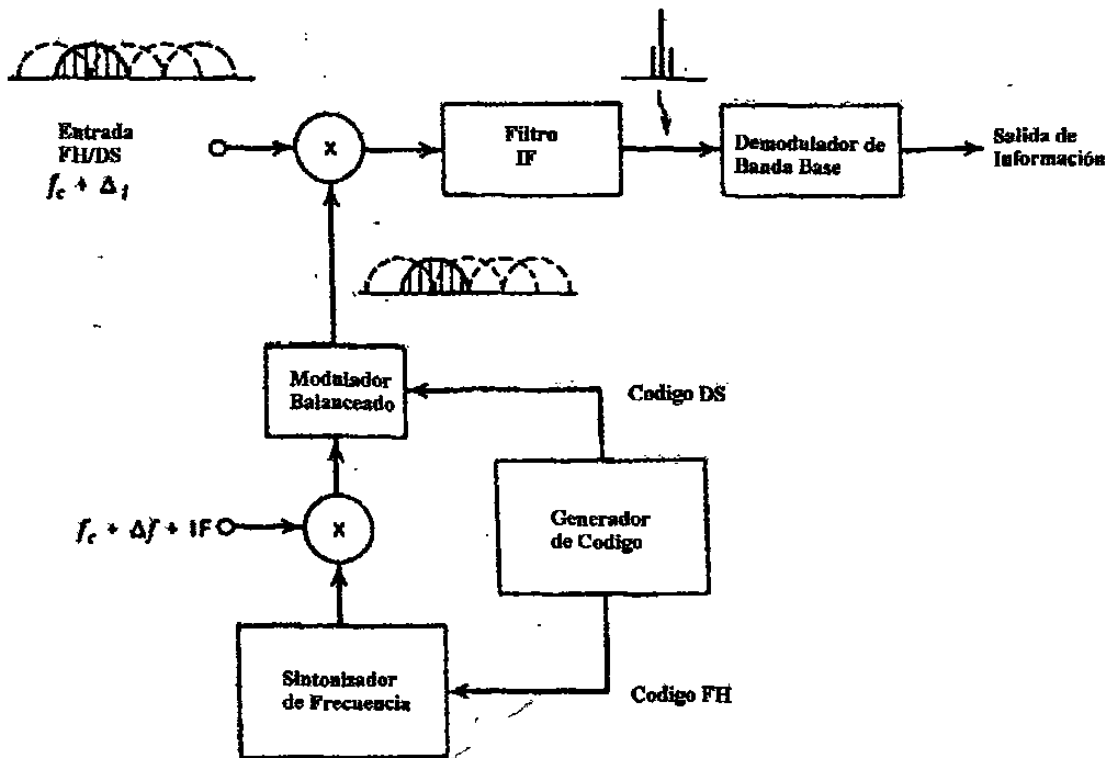


Fig. 4.18 Receptor Híbrido FH/DS.

La ganancia de procesamiento en decibeles para un apropiado diseño de un sistema híbrido FH/DS es la suma de las ganancias producidas por las dos modulaciones de espectro expandido (ecuación 4.9); esto es,

$$G_{P(FH/DS)} = G_{P(FH)} + G_{P(DS)} \quad \text{Ec.4.9}$$

#### 4.6.2 SALTO DE TIEMPO-FRECUENCIA.

La modulación de salto de tiempo-frecuencia ha encontrado su más grande aplicación en aquellos sistemas en los cuales una gran cantidad de usuarios con distancias o potencias extensamente variables deben funcionar simultáneamente en un solo enlace. Tales sistemas tienden a emplear la codificación simple, principalmente como medio de dirección, mejor dicho para separar el espectro específicamente. La tendencia general es diseñar para el equivalente de un sistema de conmutación telefónica sin hilos en el cual el acceso aleatorio y la dirección discreta sean las metas operacionales primarias. Para tales aplicaciones el salto de tiempo-frecuencia se adapta

bien; esto ofrece una de las pocas (y quizás la única) soluciones viables al problema cercano-lejos.

Consideremos por un momento dos enlaces de recepción y transmisión cuyos receptores y transmisores se espacian como se muestra en la figura 4.19 y en los cuáles el receptor para cada enlace se coloca de modo que el otro transmisor del enlace cause interferencia. El problema en este sistema es que erróneo en la diferencia de distancia desde un receptor a su transmisor deseado y al transmisor más cercano.

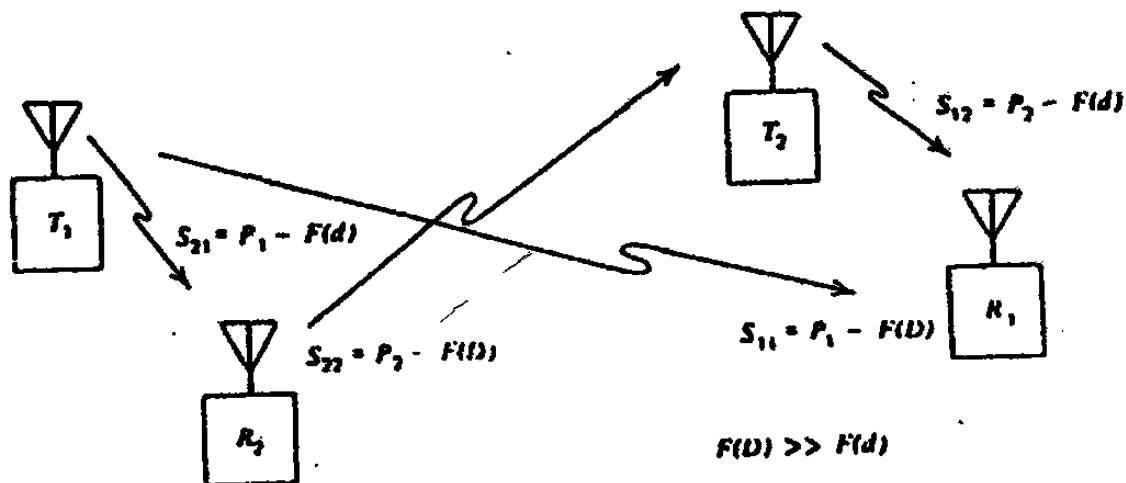


Fig. 4.19 Aplicación del Sistema Híbrido Salto de Tiempo-Frecuencia.

#### 4.6.3 MODULACIÓN DE SALTO DE TIEMPO Y SECUENCIA DIRECTA.

Cuando la transmisión de secuencia directa es usada, y la multiplexación por división de código no permite el suficiente acceso al enlace, el salto de tiempo ha demostrado ser una manera útil mediante la adicción de multiplexación por división de tiempo (TDM), ser una ayuda en el control de tráfico. El alto grado de tiempo de sincronización entre las terminales de transmisión-recepción de secuencia directa debido a los requerimientos de códigos de correlación permite idealmente a salto de tiempo; es decir, porque un receptor de secuencia directa debe alinear su código local de referencia dentro de una fracción de un tiempo de código chip  $pn$ , tiene ya sincronización bastante buena para soportar la operación de TDM.