



**UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E  
INGENIERÍA**

**ING. EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Tesis Presentada por:

Domínguez Larios Juan Carlos

Reyes Pérez José Eduardo

Asesor de Tesis:

Ing. Francisco Javier Ortega Cuellar

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

“PROPUESTA DE UN ENLACE SATELITAL POR MEDIO DE  
UNA UNIDAD TERRENA MÓVIL APLICADA A RADIO Y  
TELEVISIÓN DE HIDALGO”

Tesis profesional presentada por

José Eduardo Reyes Pérez

Juan Carlos Domínguez Larios

Como requisito parcial para obtener el título en  
Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y  
Telecomunicaciones

Director de Tesis

Ing. Francisco Javier Ortega Cuellar

Pachuca de Soto Hidalgo a 15 de Septiembre del 2010

## **AGRADECIMIENTO**

### **José Eduardo Reyes Pérez**

Esta tesis se la agradezco a mis Padres por su amor, comprensión y apoyo en todo momento. Gracias por haberme apoyado y creído en mí en todo momento, por haber estado en los momentos duros, sin su confianza no hubiera sido lo que soy ahora.

Agradezco a mis hermanos por su orientación y compañía brindada durante toda la carrera.

Agradezco a mis amigos por la confianza brindada y por los momentos felices que hemos pasado juntos.

Agradezco a mis maestros por su disposición y todos los conocimientos que me brindaron.

## **DEDICATORIA**

### **José Eduardo Reyes Pérez**

Mi tesis la dedico en primer lugar a mis Padres:  
José Alejandro Reyes Ortega y Paula Pérez Dosta.

A mis hermanos:  
José Alejandro Reyes Pérez y Nancy Reyes Pérez.

A mis profesores por haberme ayudado en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

### **JUAN CARLOS DOMINGUEZ LARIOS**

Aprovechando este espacio le doy principalmente las gracias a dios quien me guio en todo momento durante mi carrera y mi vida, dándome la fuerza necesaria en los momentos justos para levantarme con más fuerzas y seguir adelante.

A mis padres quienes me brindaron el apoyo y soporte con sus enseñanzas para abrirme paso en el duro transcurrir de la carrera.

A mis amigos los cuales me ayudaron a crecer como persona y con quienes pase momentos invaluable a lo largo de toda mi formación profesional, momentos que atesorare para toda la vida y que marcaron una etapa, dejándome la satisfacción de haber conocido personas que seguramente se convertirán en reconocidos ingenieros y que sin duda forjaran el futuro que México tanto necesita.

A los Ingenieros Ernesto Sareñana, Ingeniero Iván Erick Aguilar, Ingeniero David Cervantes y a todos aquellos quienes laboran en Radio y Televisión de Hidalgo los cuales me proporcionaron las herramientas necesarias para la realización de este documento al mismo tiempo que me manifestaron su amistad.

A mis maestros quienes con mucho esfuerzo aportaron su grano de arena para que formara un carácter propio y autosuficiente para poder resolver los problemas no solo laborales sino cotidianos.

A todos aquellos que depositaron toda su fe y su confianza en mi, les doy mi más sincero agradecimiento por las muestras de afecto que me brindaron ya que esto me motivo a dar más allá de mis límites y darme cuenta que tengo personas a mi alrededor que me quieren y me valoran.

**A TODOS USTEDES MUCHAS GRACIAS Y DE USTEDES ES ESTE TRABAJO.**

## **DEDICATORIA**

### **JUAN CARLOS DOMINGUEZ LARIOS**

Este trabajo lo dedico especialmente a dios quien me dio permiso de realizar todo este esfuerzo.

Lo dedico a mis padres Marcelino Domínguez Arteaga y Magdalena Larios Maya

A mi abuelita María Isabel Maya Hernández

A mis hermanos Marco Antonio, Andrea Doria, Marcelino y Jared Domínguez Larios.

Y a todos mis amigos con todo mi cariño especial para ustedes.

## **INDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	iii
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	v
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	vi
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b>	vi
<b>1. CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS</b>	
1.1 Descripción General	1
1.2 Historia de los Satélites	2
1.3 La idea de Arthur C. Clarke	5
1.4 Tipos de Órbitas de un Satélite	7
1.4.1 Ventajas de las Órbitas Geosíncronas	10
1.4.2 Desventajas de las Órbitas Geosíncronas	10
1.5 Técnicas de puesta en Órbita Geosíncrona	12
1.5.1 Inyección directa en Órbita Geoestacionaria	12
1.5.2 Inyección inicial en Órbita Elíptica	13
1.5.3 Inyección inicial en Órbita Circular Baja	14
1.6 Factores que alteran la estabilidad de la Órbita	16
1.7 Factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite	19
1.7.1 Otros factores de perturbación	20
1.8 Azimut y ángulo de elevación	21
1.8.1 Angulo de elevación	21
1.8.2 Azimut	22
1.9 Patrones orbitales	24
1.10 Bandas de operación (L, S, C, Ku, Ka, X, Q, V)	26
1.11 Reutilización de frecuencias	30
1.12 Problemas de polarización	32
1.12.1 Despolarización causada por lluvia	32
1.13 Huela de un satélite	33

1.13.1	Regiones que se definen en el sistema de satélites mexicanos	34
1.14	Transpondedores	35
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 2.- ESTACIÓN TERRENA (FIJA Y MÓVIL)</b>	
2.1	Estación terrenas	39
2.2	Estación terrena móvil	40
2.3	La antena	42
2.3.1	Antena parabólica con alimentador frontal	43
2.3.2	Antena Offset	44
2.3.3	Alimentadores	45
2.4	El transmisor	46
2.4.1	Modem	47
2.4.2	El convertidor elevador	47
2.4.3	El amplificador de alta potencia (HPA)	48
2.4.3.1	Tubo de ondas progresivas (TWT)	48
2.4.3.2	Klitrón	49
2.4.3.3	Amplificadores de estado sólido (SSPA)	49
2.5	El receptor	51
2.5.1	El amplificador de bajo ruido (LNA)	53
2.5.2	Conversión de frecuencia, demodulación y calidad de recepción	55
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3.- CÁLCULO DEL ENLACE SATMEX 6</b>	
3.1	Cálculo del enlace	59
3.1.1	Parámetros	61
3.2	Cálculos preliminares	63
3.3	Enlace ascendente	68
3.4	Enlace descendente	73
3.5	Evaluación del enlace	77
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 4.- PROPUESTA DEL EQUIPO SATELITAL</b>	
4.1	Radio y Televisión de Hidalgo	80

4.2	Propuesta de equipo	81
4.3	Antena	83
4.4	Controlador de antena por medio de GPS y Fluxgate Compass	84
4.4.1	Leds de alarmas	85
4.4.2	Teclas	85
4.5	Amplificador de potencia, marca Xicom Technology	89
4.5.1	Modos de operación del amplificador principal	91
4.5.2	Fallas	92
4.5.3	Otros modos de operación del amplificador	96
4.6	Convertidor ascendente marca Advent Communications, modelo AUC381	98
4.7	Encoder/modulador marca Advent Communications, modelo DVE50000	101
4.7.1	Selección de teclas	102
4.7.2	Leds alarmas	103
4.8	Especificaciones técnicas de la estación terrena	106
4.9	Especificaciones técnicas del controlador de antena	108
4.10	Especificaciones técnicas del amplificador de potencia	110
4.11	Especificaciones técnicas del convertidor ascendente	113
4.12	Especificaciones técnicas del encoder/modulador	114
4.13	Formatos de video	119
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES</b>	
	<b>GLOSARIO</b>	122
	<b>REFERENCIAS</b>	125



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama que ilustra la idea de Clarke	6
Figura 1.2 Diagrama de un satélite de Órbita elíptica	7
Figura 1.3 Órbitas de un satélite	8
Figura 1.4 Órbitas de un satélite, LEO, MEO, GEO y HEO	9
Figura 1.5 vista lateral y vista superior de un satélite para un observador en la Tierra	11
Figura 1.6 Diagrama de la inyección de un satélite en una órbita Geosíncrona	13
Figura 1.7 Diagrama de inyección de un satélite en órbita circular baja	14
Figura 1.8 Configuración de un satélite almacenado en el compartimiento de un orbitador	15
Figura 1.9 Diagrama de la caja imaginaria	18
Figura 1.10 factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite	20
Figura 1.11 Representación gráfica de la elevación	21
Figura 1.12 Medida de la elevación	21
Figura 1.13 Vista de la medida de azimut	22
Figura 1.14 Azimut y ángulo de elevación	23
Figura 1.15 Ángulos de vista	23
Figura 1.16 Espaciamiento entre satélites	25
Figura 1.17 Separación espacial de satélites en una órbita Geosíncrona	25
Figura 1.18 Ilustración de reutilización de frecuencias con aislamiento espacial	30
Figura 1.19 Ilustración de reutilización de frecuencias con discriminación de polarización	31
Figura 1.20 Representación de algunas "huellas" de diferente intensidad	34
Figura 1.21 Diagrama básico de un transpondedor	35
Figura 1.22 División del ancho de banda de un satélite usual	37
Figura 1.23 Diagrama a bloques de un satélite común	38
Figura 2.1 Diagrama a bloques de la estación terrena móvil	41
Figura 2.2 Antena parabólica con alimentación frontal	43
Figura 2.3 Diagrama del funcionamiento de una antena off-set	44
Figura 2.4 Corneta corrugada con alimentador	45

Figura 2.5 Diagrama a bloques de los cambios de la señal a través de los equipos	50
Figura 2.6 Diagrama del proceso que lleva la señal a la transmisión	50
Figura 2.7 Diagrama donde se muestra la configuración básica del bloque de recepción	51
Figura 2.8 Diagrama del proceso completo de la señal en un enlace	54
Figura 2.9 Diagrama del proceso que lleva la señal a la recepción	58
Figura 3.1 Diagrama general del enlace satelital	60
Figura 3.2 Diagrama que nos muestra la interferencia adyacente entre las señales	69
Figura 4.1 Diagrama a bloques de la Estación Terrena móvil	82
Figura 4.2 Antena off-set Newswift con polarización lineal	83
Figura 4.3 Panel frontal del controlador de Antena, GPS y Fluxgate	85
Figura 4.4 Pantalla principal LCD y Control de Fallas	87
Figura 4.5 Diagrama a bloques del amplificador XTD -200-200K	89
Figura 4.6 Diagrama a bloques de convertidor ascendente	98
Figura 4.7 Diagrama donde se muestra el panel frontal de la unidad	99
Figura 4.8 Figura donde se muestra el Panel Frontal	102

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 frecuencias asignadas a los enlaces	27
Tabla 1.2 Frecuencias asignadas a cada banda	28
Tabla 1.3 Características de algunos sistemas de comunicación por satélite	29
Tabla 4.1 Muestra las posibles fallas establecidas en fabrica que el equipo puede tener	88
Tabla 4.2 Posibles fallas establecidas en fábrica que el amplificador puede tener	90

## INTRODUCCIÓN

La radiocomunicación puede definirse como un método de telecomunicación realizada por medio de ondas radioeléctricas; la que hace uso de elementos situados en el espacio, se denomina radiocomunicación espacial.

La técnica de la radiocomunicación consiste en la superposición de la información que se desea transmitir en una onda electromagnética llamada portadora. La inserción de esta información constituye el proceso denominado modulación. Como consecuencia del mismo, se genera una onda modulada, cuyo espectro contiene un conjunto de frecuencias en torno a la portadora. La onda modulada se envía al medio de propagación a través de un dispositivo de acoplamiento con el medio, denominado antena.

El conjunto de equipos para el tratamiento de la señal tales como moduladores, filtros y antena, en un sistema de radiocomunicación, constituye la estación transmisora.

En general, se llama radiación al flujo saliente de energía de una fuente cualquiera, en forma de ondas electromagnéticas. Se entiende por emisión la producción de radiación o la radiación producida por una estación transmisora radioeléctrica. Por lo tanto, el proceso de radiación de una onda modulada es una emisión. En ocasiones, elementos de un sistema de radiocomunicaciones pueden generar y enviar ondas parásitas o no deseadas, lo cual constituye una radiación y se habla así de radiaciones espurias.

La onda modulada generada en la estación transmisora y emitida al medio de propagación, alcanza el punto o puntos de destino y accede al sistema receptor por medio de una antena de recepción, la cual recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida. El conjunto de equipos para el tratamiento de la señal recibida: antena, amplificadores, demodulador, filtros, constituye la estación receptora de un sistema de radiocomunicación.

Los órganos de transmisión, recepción y antenas, contribuyen a la radiocomunicación. En cambio el medio de transmisión introduce pérdidas, y diversos tipos de perturbaciones, tales como distorsión, ruido e interferencias.

La potencia recibida de la onda radioeléctrica en el receptor, debe ser mayor en relación de la potencia recibida de ruido e interferencias. Por consiguiente, se establece, en función de la clase de radiocomunicación y frecuencia de portadora, un valor umbral de la potencia de señal deseada por debajo del cual, prácticamente, no puede recuperarse la información.

Alternativamente, se define como umbral de calidad, la relación mínima admisible entre la potencia de la señal útil y la potencia equivalente del ruido y la interferencia. Estas potencias dependen de numerosos factores que varían en función de la frecuencia y anchura de banda de la emisión.

## JUSTIFICACIÓN

¿De qué hablamos cuando decimos enlace de comunicaciones? ¿Es la parte o el espacio que une al transmisor con el receptor? No, Es mucho más que eso. El enlace comprende la fuente de información, todos los pasos de codificación y modulación, el transmisor, el canal de comunicación, y el receptor

¿Qué es y para qué sirve el análisis del enlace de comunicación? Consiste en el cálculo y tabulación de las potencias de señal y la interferencia que estas sufrirán en el receptor como consecuencia del ruido y de pérdidas indeseadas. Digamos que se va detallando en una hoja todos los factores que intervienen en el enlace: ruido, interferencia, distorsión, atenuaciones, otros efectos no deseados, etc.

Esto es en realidad una técnica de estimación puesto que muchos de los parámetros que intervienen y que influyen en la calidad del enlace no se pueden predecir con exactitud, como por ejemplo las atenuaciones que sufre la señal a consecuencia de eventos meteorológicos.

Este documento se encuentra encaminado primordialmente a la formación práctica de los sistemas de radiocomunicación, al estudiante de ingeniería en telecomunicaciones y al ingeniero en ejercicio profesional que desee disponer de material de referencia y de consulta.

## **OBJETIVO GENERAL**

Comprender cada uno de los conceptos, cálculos así como los parámetros que son necesarios para realizar un enlace satelital; al igual que adquirir los conocimientos necesarios para saber cuando se puede realizar un enlace satelital.

Describir una unidad terrena móvil satelital para la transmisión de video y audio en un sistema punto a punto.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

-Realizar el cálculo de un enlace satelital que se puede utilizar entre una estación terrena móvil y una estación terrena fija.

-Elaborar un documento de apoyo y soporte para el estudiante con conocimientos básicos en la realización de un enlace.

-Proponer el equipo necesario en base a los cálculos realizados.

-Diseñar el proyecto para el enlace entre la ciudad de Tula con la estación terrena móvil y la ciudad de Pachuca con la estación terrena fija, analizado el comportamiento del enlace de acuerdo a las condiciones encontradas en cada sitio.

## CAPITULO 1

### ANTECEDENTES HISTORICOS

#### 1.1 DESCRIPCION GENERAL

En términos astronómicos, un satélite es un cuerpo celeste que gira en órbita en torno a un planeta (por ejemplo, la luna es un satélite de la tierra). “Sin embargo, en términos aeroespaciales un satélite es un vehículo espacial lanzado por humanos, que describe órbitas alrededor de la Tierra o de otro cuerpo celeste. Los satélites de comunicaciones son fabricados por el hombre y giran en órbita en torno a la Tierra, permitiendo efectuar una multitud de comunicaciones hacia una gran variedad de usuarios, incluyendo suscriptores militares, gubernamentales, privados y comerciales.”<sup>1</sup>

En esencia, un satélite de comunicaciones es una repetidora de microondas en el espacio, la cual cuenta básicamente de uno o más de los siguientes dispositivos: receptor, transmisor, regenerador, filtro, computadora a bordo, multiplexor, demultiplexor, antena, guía de onda, también cuenta con dispositivos eléctricos y electrónicos que se utilizan para el suministro de energía eléctrica y su posicionamiento en el espacio

Una radiorrepetidora satelital se llama transpondedor, y un satélite puede tener muchos de ellos. Un sistema satelital consiste de uno o más vehículos espaciales, una estación en la Tierra para controlar el funcionamiento del sistema y una red de estaciones usuarias en la Tierra que proporcionan las instalaciones de interfaz para transmitir y recibir el tráfico de comunicaciones terrestres a través del sistema satelital.

Las transmisiones de y hacia los satélites se clasifican como de bus y de carga útil. En el bus se incluyen los mecanismos de control que respaldan la operación de carga útil. La carga útil es la información real de usuarios que pasa por el sistema. Aunque en años recientes hay cada vez más demanda de nuevos servicios de emisión de datos y de televisión, la transmisión de señales telefónicas convencionales de voz (en forma analógica o digital) sigue siendo el grueso de la carga útil de los satélites.

A principios de la década de 1960, la AT&T dio a conocer estudios que indicaban que unos pocos satélites poderosos, de diseño avanzado, podrían manejar más tráfico telefónico que toda la red existente de comunicaciones de larga distancia de

---

<sup>1</sup> TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas. 4ta edición. México: Prentice Hall, 2003. 793 páginas.

AT&T. Se estimo que el costo de estos satélites sería solo una fracción del costo de instalaciones terrestres equivalente, por microondas o por cable subterráneo. Desafortunadamente, como AT&T era una compañía privada y los reglamentos oficiales les prohibían desarrollar los sistemas satélites, se dejó que compañías más pequeñas y mucho menos lucrativas desarrollaran los sistemas satelitales, y AT&T continuo invirtiendo millones de dólares cada año para investigar sistemas convencionales terrestres, de microondas y de cable metálico. Por esta causa, los primeros desarrollos de tecnología de satélites fueron lentos.

## **1.2 HISTORIA DE LOS SATELITES**

El tipo más sencillo de satélite es un reflector pasivo, que solo “rebota” las señales de un lugar a otro. Un satélite pasivo refleja las señales de regreso a la Tierra, porque no hay a bordo dispositivos de ganancia que amplifiquen o modifiquen las señales. La Luna es un satélite natural de la Tierra, visible por reflexión de la luz solar, y que tiene una órbita ligeramente elíptica. En consecuencia, la luna fue el primer satélite pasivo en 1954, cuando la marina de E.U.A. transmitió con éxito el primer mensaje utilizando este sistema de comunicaciones de la Tierra a la Luna y de la Luna a la Tierra.

En 1956 se estableció un sistemas de repetidoras entre Washington, D.C. y Hawaii y hasta 1962 ofreció un servicio confiable de radiocomunicaciones de larga distancia, limitado solo por la disponibilidad de la Luna. Sin embargo, al paso del tiempo, se vio que la Luna es un satélite de comunicaciones incómodo y no confiable, porque solo esta sobre el horizonte la mitad del tiempo y su posición respecto a la Tierra cambia en forma constante.

Una ventaja obvia de los satélites pasivos es que no requieren de equipos electrónicos complicados a bordo, aunque no necesariamente carezcan de energía. Algunos satélites pasivos requieren transmisores por radiofaro, para fines de rastreo y telemetría. Un radiofaro es una portadora no modulada, transmitida en forma continua, a la que se puede fijar una estación terrestre para usarla en la determinación del lugar exacto del satélite, para que la estación terrestre pueda alinear sus antenas. Otra desventaja de los satélites pasivos es su uso ineficiente de la potencia transmitida.

En 1957 Rusia lanzo el Sputnik I, el primer satélite terrestre activo. Un satélite activo es aquel capaz de recibir, amplificar, reconformar, regenerar y retransmitir información. El Sputnik I transmitió información de telemetría por 21 días. Después, el mismo año, Estados Unidos lanzo el Explore I que transmitió información de telemetría durante casi cinco meses.



La NASA lanzo el Score en 1958 un satélite cónico de 150 lb. Con una grabación en cinta a bordo, retransmitió el mensaje de navidad de 1958 del presidente Eisenhower. Score fue el primer satélite artificial en usarse para retransmitir comunicaciones terrestres. Era un satélite repetidor con retardo, porque recibía transmisiones de estaciones terrestres, las guardaba en cinta magnética, y las retransmitía después hacia estaciones terrestres, más adelante en su órbita.

También la NASA en conjunto con Bell Telephone Laboratories y el Jet Propulsion Laboratory lanzaron Echo en 1960, un globo de plástico de 100 pies de diámetro, con recubrimiento de aluminio. Echo reflejaba en forma pasiva las señales que recibía de grandes antenas de la estación terrestre. Era sencillo y confiable pero requería de transmisores de potencia extremadamente alta en las estaciones terrestres. La primera transmisión trasatlántica en usar un satélite se logro con Echo.

También en 1960, el departamento de la defensa de E.U.A. lanzo el Courier, que fue el primer satélite del tipo transpondedor. Courier transmitió 3 W de potencia y solo duro 17 días.

En 1962 AT&T lanzo Telstar I el primer satélite activo en recibir y transmitir señales de radio en forma simultánea. El equipo electrónico de Telstar I se daño con la radiación de los recién descubiertos cinturones de Van Allen y en consecuencia solo duro unas pocas semanas. En 1963 fue lanzado Telstar II, con éxito y era idéntico, electrónicamente, al Telstar I, pero más resistente a la radiación. Se uso Telstar II para transmisiones de telefónicas de TV, facsímil, y datos, y logró transmitir bien la primera transmisión trasatlántica de video.

El Syncom I se lanzo en febrero de 1963, y fue el primer intento de colocar en orbita un satélite geosíncrono. Desafortunadamente, se perdió durante su inyección en órbita; sin embargo, fueron lanzados con éxito el Syncom II y el Syncom III en febrero de 1963 y agosto de 1964, respectivamente. El satélite Syncom II se uso en la transmisión de los Juegos Olímpicos de Tokio, en 1964. Los satélites Syncom demostraron la factibilidad de usar satélites geosíncronos.

A partir de los proyectos Syncom, varias naciones y empresas privadas han lanzado con éxito satélites que hoy se usan para proporcionar comunicaciones globales nacionales, regionales e internacionales. Hoy en día, hay varios cientos de sistemas satelitales de comunicaciones que funcionan casi en cualquier rincón del mundo. Estas empresas proporcionan circuitos mundiales, telefónicos y de datos, de portadora común fija, emisión de televisión de punto a punto, distribución de red de televisión, emisión de música, servicio de teléfono móvil, servicio de navegación y redes privadas de comunicaciones para grandes corporaciones, agencias gubernamentales y aplicaciones militares.

El primer satélite comercial de telecomunicaciones fue el Intelsat I (apodado pájaro madrugador). Fue lanzado de Cabo Kenedy en 1965, y uso dos transpondedores y un ancho de banda de 25 Mhz, para conducir en forma simultánea una señal de televisión y 480 canales de voz. Intelsat que quiere decir Organización Internacional de Telecomunicaciones Satelitales. Es una red comercial global que se manifestó en 1964, desde el interior de las Naciones Unidas. Es un consorcio de más de 120 naciones, que tiene el compromiso de proporcionar comunicaciones satelitales a nivel mundial, sin discriminación, usando cuatro categorías básicas de servicio: telefonía internacional conmutada publica, emisiones de radio y tv, redes de líneas privadas y comerciales y comunicaciones domésticas y regionales. Entre 1966 y 1987, Intelsat lanzo una series de satélite llamados Intelsat II, III, IV, V, VI. El Intelsat VI tiene una capacidad de 80,000 canales de voz. Entre los lanzamientos mas recientes de satélites de Intelsat están los vehículos espaciales de las series 500, 600, 700 y 800.

La antigua Unión Soviética lanzó el primer conjunto de satélites domésticos (Domsats) o nacionales en 1966, llamándolos Molnya, que quiere decir “relámpago”. Los Domsats son satélites que son propiedad de un solo país, que los opera y usa. En 1972, Canadá lanzo su primer satélite comercial llamado Anik, palabra Inuit que quiere decir “hermanito”. La Western Union lanzo su primer satélite Westar en 1984, y la Radio Corporation of America (RCA) lanzo sus primeros Satcom (Satellite communications) en 1975. Hoy, en Estados Unidos, una empresa de propiedad publica, llamada communications satellite corporation (comsat) reglamenta el uso y funcionamiento de los satélites estadounidenses, y también establece sus tarifas. Aunque una empresa o gobierno pueden poseer un satélite, por lo general, sus instalaciones se ponen a disposición del que pueda pagarlas. En Estados Unidos se usa hoy la mayor parte del tiempo mundial disponible de satélites: el 24%; el segundo lugar es Gran Bretaña con 13% y les sigue Francia con 6%.

### 1.3 LA IDEA DE ARTHUR C. CLARKE:

En 1945 Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la Tierra parecería que no se movieran, como si estuviesen colgados en el cielo. El artículo salió publicado en la revista británica *Wireless World* y sugería un sistema de comunicaciones formado por tres estaciones espaciales de cobertura global en órbita geoestacionaria. Los satélites no cambiarían, aparentemente, de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos reduciría, en la relación con el uso de otras órbitas. Casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo tres satélites colocados en esa órbita. A esta órbita sugerida por Clarke se le denomina Cinturón de Clarke u Órbita Geoestacionaria o Geosíncrona. Ver figura 1.1

¿Cómo sería posible lograr que los satélites estuviesen aparentemente sin movimiento, si los satélites deben moverse a gran velocidad, para no perder altura y caer hacia la Tierra, atraídos por ella?

La Tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la Tierra, es decir geoestacionario.

Requisitos para que un satélite se considere geosíncrono:

1) Que esté en Órbita Geoestacionaria, es decir a una altura de 35,788 Kms. Aproximadamente a 36,000 Km.

2) Que la velocidad a la que el satélite se mueva sea constante: 3075 metros/segundo.

3) Que la órbita sea circular alrededor de la Tierra.

4) Es importante considerar las:

a) Leyes de Isaac Newton:

1) Fuerza de Atracción (inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa y directamente proporcional a las masas)

2) Si a un cuerpo se le aplica una fuerza (acción) éste responde con una reacción igual y de sentido contrario.

b) Leyes de Kepler y muchos otros principios.

En teoría el número de órbitas en las que se puede colocar un satélite es infinito, pero la que más se utiliza es la geostacionaria o Cinturón de Clarke. Actualmente el Cinturón de Clarke es la órbita más congestionada.

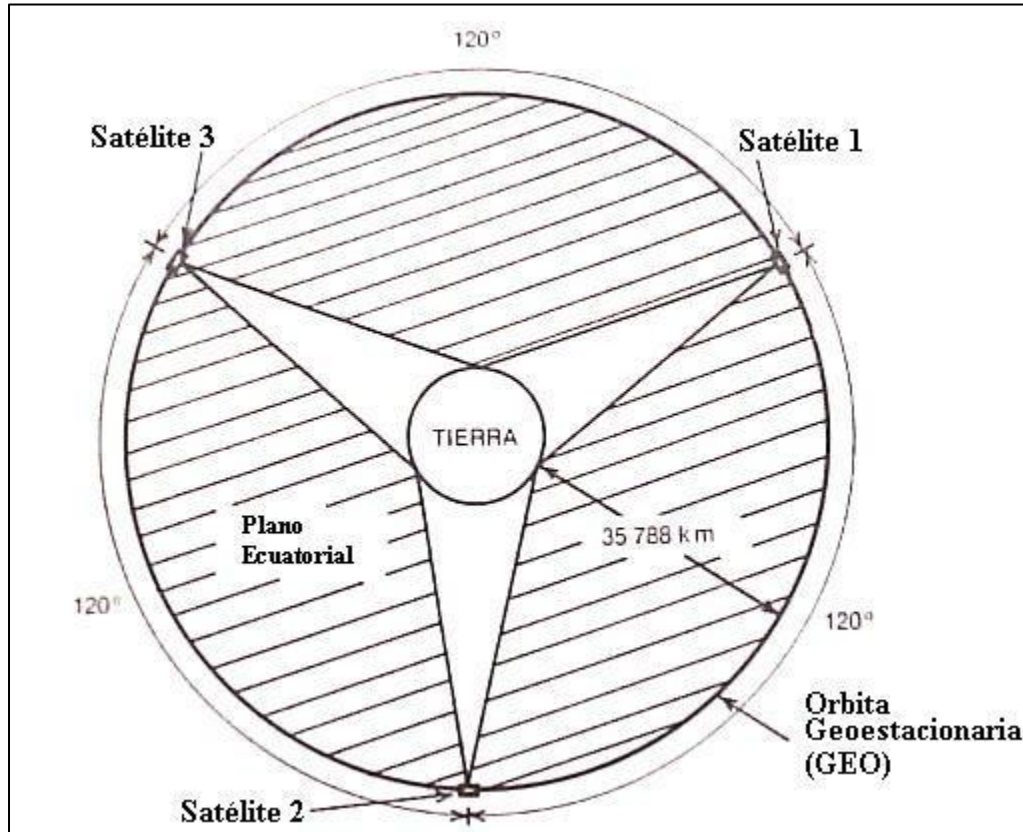


Figura 1.1 Diagrama que ilustra la idea de Clarke.

## 1.4 TIPOS DE ORBITAS DE UN SATÉLITE.

Las órbitas de un satélite se pueden clasificar tomando en cuenta distintas características o desde diferentes puntos de vista:

1. Por la forma de la órbita.
2. Por el recorrido o trayectoria.
3. Por la altura de la órbita.

### 1) POR LA FORMA DE LA ÓRBITA:

- a) Órbita Circular. Ver figura 1.1
- b) Órbita Elíptica. Ver figura 1.2 En las órbitas elípticas es importante considerar el Perigeo y el Apogeo.

Perigeo: Mínima distancia con respecto a la tierra que alcanza un satélite durante su recorrido en órbita, es decir, punto más cercano a la tierra en la órbita de un satélite.

Apogeo: Máxima distancia con respecto a la tierra que alcanza un satélite durante su recorrido en órbita, es decir, punto más lejano a la tierra en la órbita de un satélite.

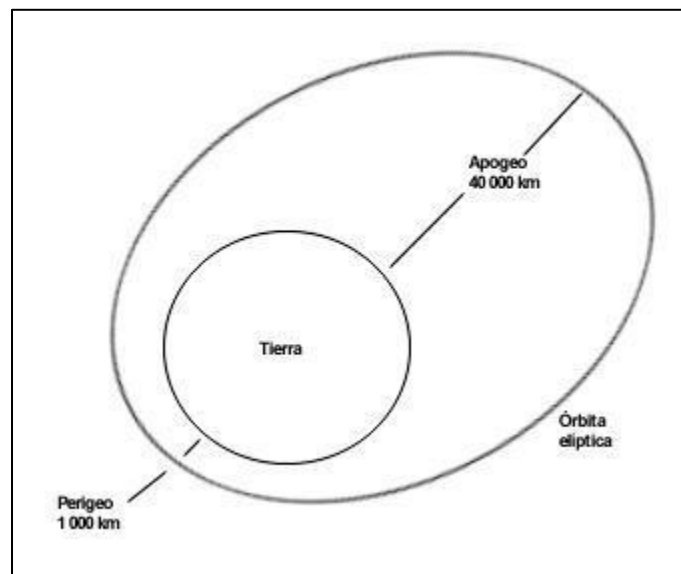


Figura 1.2 Diagrama de un satélite de Órbita elíptica.

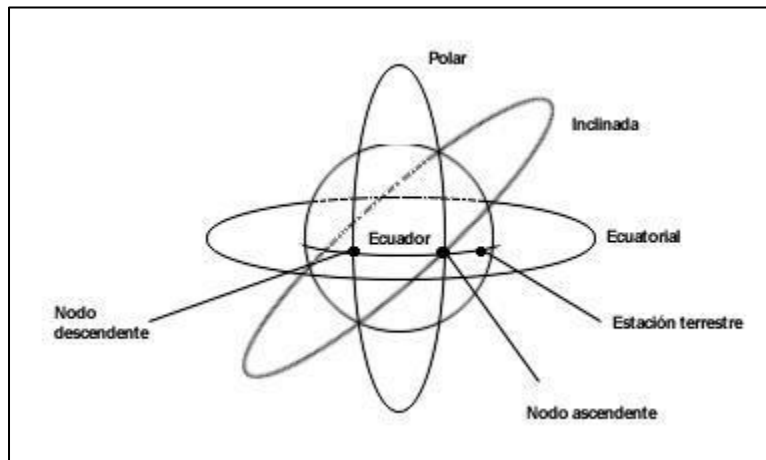
**2) POR EL RECORRIDO O TRAYECTORIA QUE REALIZAN TOMANDO COMO REFERENCIA A LA TIERRA.**

- a) Ecuatorial: Cuando el satélite gira arriba (o de manera paralela) del Ecuador.
- b) Polar: Cuando el satélite gira arriba de los polos o pasa por los dos polos en su recorrido.
- c) Inclinada: Cualquier otra trayectoria.

Cuando la órbita es polar es importante considerar los puntos en los que el satélite pasa por el ecuador de la siguiente manera:

- 1) Nodo ascendente: Punto donde la órbita cruza el plano ecuatorial de sur a norte.
- 2) Nodo descendente: Punto donde la órbita cruza el plano ecuatorial de norte a sur.

Ver figura 1.3



**Figura 1.3 Órbitas de un satélite.**

### 3) POR LA ALTURA DE LA ÓRBITA.

a) De baja altitud. (LEO, Low Earth Orbit). De 500 Kms. a 1500 Kms. El límite inferior no puede ser menor para evitar tiempos y áreas de cobertura muy pequeñas, así como para evitar fricciones con la atmósfera. El límite superior no puede ser mayor para evitar el primer cinturón de radiación de Van Allen.

Este tipo de órbitas tienen muy poca área de cobertura y el tiempo de cobertura es muy corto (algunos minutos) y se utilizan cuando se cubre el área de servicio con constelaciones de satélites.

b) De mediana altitud. (MEO, Medium Earth Orbit). De 6000 Kms. a 11000 Kms. Estos límites permiten que los satélites queden ubicados entre el primer y el segundo cinturón de radiación de Van Allen.

El tiempo de cobertura es de 2 a 4 horas.

c) Órbita Geoestacionaria a 35788 Kms. (GEO). El tiempo de cobertura es de 24 horas, 100%.

d) Altamente Elípticas. (HEO, Highly Elliptical Orbit). Cubren regiones que no son accesibles con los satélites GEO, por ejemplo los polos.

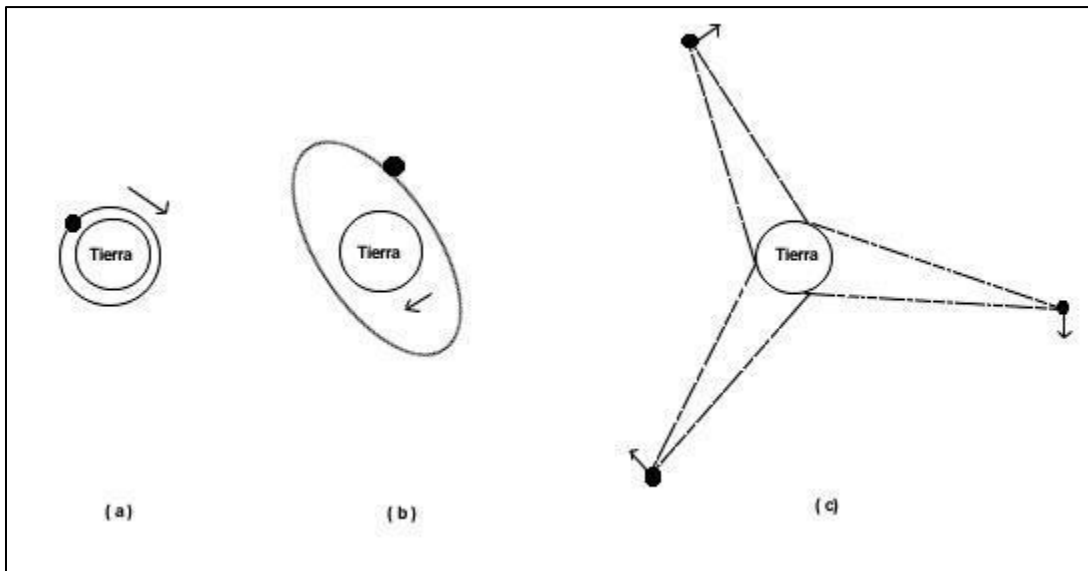


Figura 1.4 Órbitas de satélite: (a) Baja altitud LEO, (b) Media altitud MEO y Altamente Elíptica HEO; (c) Órbita geosíncrona GEO.

#### **4) LAS ÓRBITAS TAMBIÉN PUEDEN SER**

a) Prógradas: Cuando el satélite gira en dirección opuesta a la dirección de rotación de la Tierra y a una velocidad angular superior.

b) Retrógradas: Cuando el satélite en dirección opuesta a la dirección de rotación de la Tierra o en la misma dirección, pero a una velocidad angular menor.

Las órbitas que no son Geoestacionarias se denominan N GEO.

##### **1.4.1 VENTAJAS DE LAS ÓRBITAS GEOSÍNCRONAS.**

1. El satélite permanece casi estacionario con respecto a una estación terrestre específica por lo tanto no se requiere equipo costoso de rastreo en las estaciones terrenas.
2. No hay necesidad de cambiar de un satélite a otro, cuando giran por encima, como consecuencia, no hay rupturas en la transmisión por tiempos de conmutación.
3. Los satélites geosíncronos de gran altitud pueden cubrir un área de la tierra más grande que sus contrapartes orbitales de baja altitud.
4. Los efectos del campo de posición Doppler son insignificantes.

##### **1.4.2 DESVENTAJAS DE LAS ORBITAS GEOSÍNCRONAS.**

1. Las altitudes superiores de los satélites geosíncronos (GEO) introducen tiempos de propagación más largos. El retardo de propagación del viaje redondo entre dos estaciones terrenas por medio de un satélite geosíncrono es de 500 ms. a 600 ms.
2. Los satélites geosíncronos requieren de alta potencia de transmisión y receptores más sensibles debido a las distancias más grandes y mayores pérdidas de trayectoria.
3. Se requieren de maniobras especiales de alta precisión para colocar un satélite geosíncrono en órbita y mantenerlo. Además se requieren motores de propulsión a bordo de los satélites para mantenerlos en sus órbitas respectivas.



Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven.

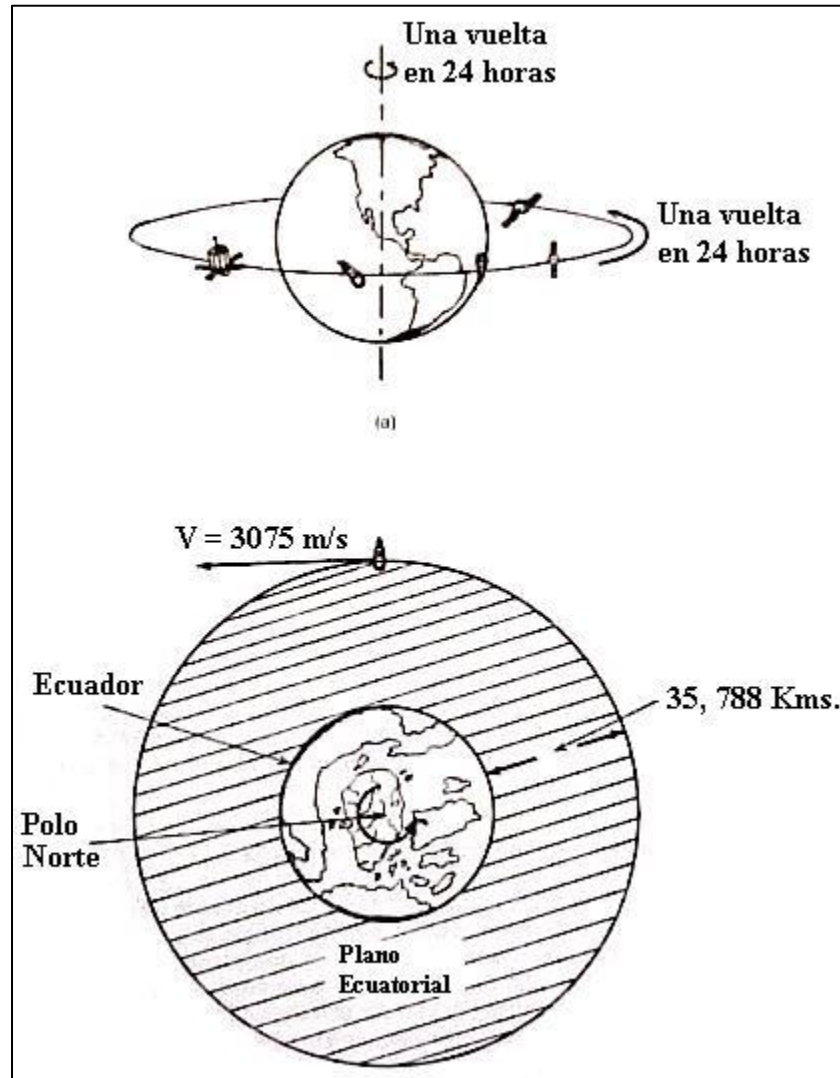


Figura 1.5 Vista lateral y vista superior de un satélite para un observador en la Tierra.

## **1.5 TÉCNICAS DE PUESTA EN ORBITA GEOSÍNCRONA.**

Técnicamente un satélite puede ser situado en una órbita síncrona en una sola operación, sin embargo consideraciones de coste, de capacidad de vehículo de lanzamiento y minimización de la energía consumida aconsejan un método consistente en hacer pasar el satélite por diferentes órbitas, cambiando de unas a otras mediante un impulso que produzca el aumento necesario de la velocidad.

Existen diferentes procedimientos para llevar un satélite a la órbita Geoestacionaria o Geosíncrona como son los siguientes:

### **1.5.1 INYECCIÓN DIRECTA EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA**

Maniobra en la que el cohete acelera continuamente (excepto en los momentos de agotamiento de una etapa e ignición de la siguiente). El satélite es transportado directamente en el cohete (por ejemplo, Titán IV-A 1989 a 1998, Titán IV-B 1997 y aún activo). Cuando el satélite ya fuera de la lanzadera se encuentra en el apogeo de la órbita, es necesario una velocidad cercana a los 2600 m/s aprox. para pasar a la órbita geoestacionaria hasta que el combustible se agota completamente, colocando la carga útil en la trayectoria final de una sola vez.

Este incremento súbito de velocidad es propiciado por el AKM (control automático del motor). Una vez en la órbita geoestacionaria, solo serán necesarias maniobras de mantenimiento de vez en cuando.

Ventajas:

- El satélite no realiza esfuerzos propios para llegar
- Alta probabilidad de éxito

Desventajas:

- Muy caro.
- Procedimiento solo para Satélites militares.

### 1.5.2 INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA ELÍPTICA

Cuando se inició la carrera espacial y se trabajó intensamente en los años 60 para llevar a los primeros hombres a la luna, uno de los retos que había que vencer y dominar era cómo pasar de una órbita a otra con el menor esfuerzo y costo. Una buena parte del trabajo teórico ya la había desarrollado y resuelto el científico alemán Walter Hohmann, pues en los años 20 había hecho varios estudios sobre la mecánica de los viajes espaciales, en su obra titulada *La accesibilidad de los cuerpos celestes* (1925). Él buscó, precisamente, un procedimiento para hacer cambios de órbita con el menor consumo posible de energía, y descubrió que era necesario usar una órbita elíptica de transferencia u órbita intermedia que fuese tangente tanto a la órbita inicial, como a la órbita final. Por simplicidad se considera que todas las órbitas son **coplanares**.

Las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad (muy alargada) en la que el centro de la Tierra es uno de los focos. Esta órbita se conoce como órbita de transferencia Geosíncrona u órbita de Hohmann. Después de varias vueltas, en uno de los apogeos se enciende un motor que circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geostacionaria.

Ver figura 1.6

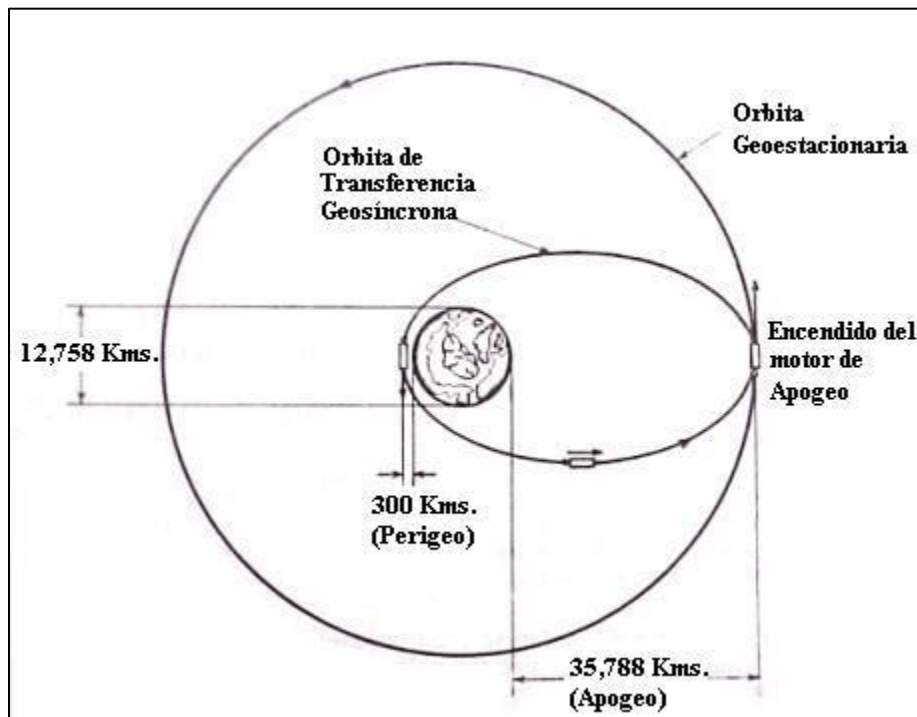


Figura 1.6 Diagrama de la inyección de un satélite en una órbita geosíncrona.

### 1.5.3 INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA CIRCULAR BAJA.

Técnica empleada por el sistema de transportación espacial de la NASA de U.S.A.

Consiste en tres pasos y los dos últimos son idénticos al caso anterior de inyección inicial en órbita elíptica.

Primero el orbitador (conteniendo al satélite) despegua y entra en órbita alrededor de la Tierra con trayectoria circular a una altura de 300 Km. (órbita circular baja). En una de las vueltas que da la nave el satélite es liberado mediante un sistema de resortes, con esto la velocidad del satélite es un poco mayor que la del orbitador. El satélite queda en órbita circular baja.

La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del Ecuador y 45 minutos más tarde cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del Ecuador, se enciende su motor de perigeo. Este empuje modifica la órbita del satélite cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica, después de esto el motor de perigeo se desprende del cuerpo del satélite.

Para el cambio de órbita se realizan 4 ó 5 "disparos" del motor, un disparo en cada vuelta para circularizar la órbita.

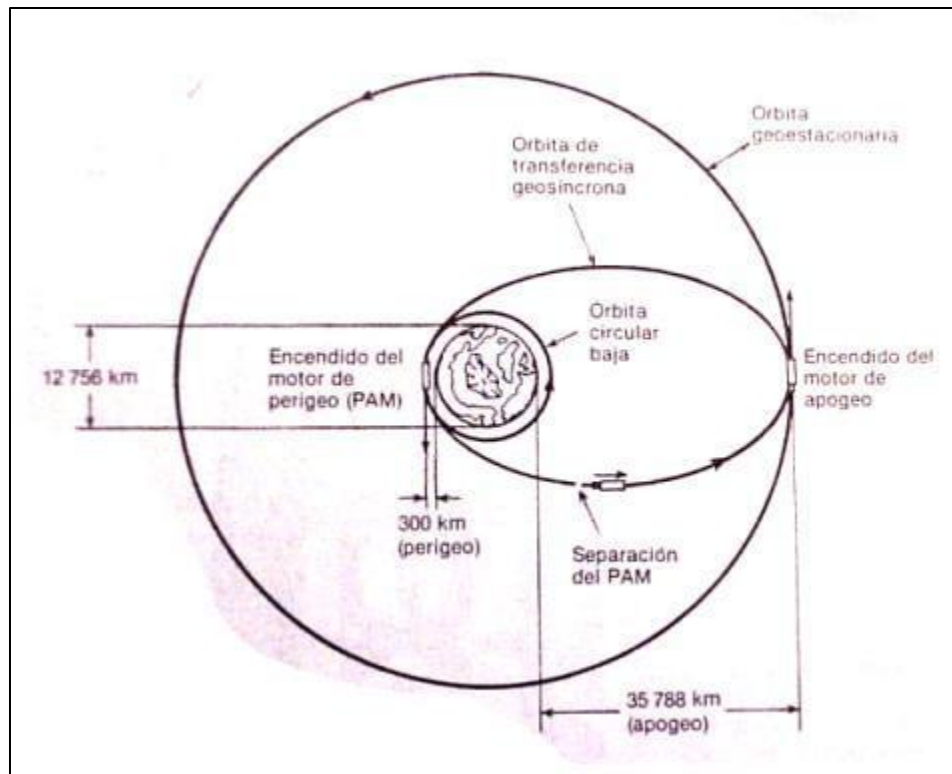
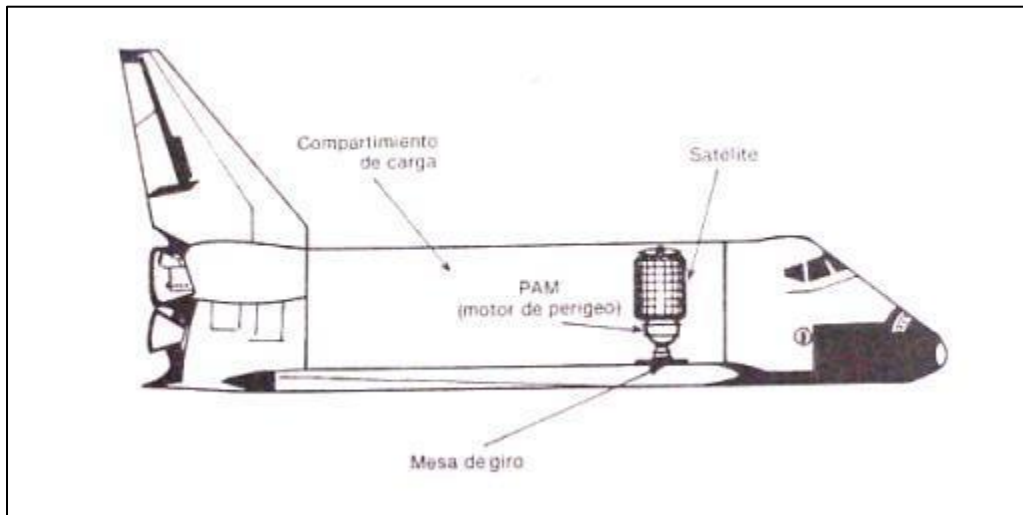


Figura 1.7 Diagrama de inyección de un satélite en órbita circular baja.

- Dimensiones del compartimiento de carga del orbitador:
  - 1.83 m. de largo
  - 4.6 m. de diámetro
- Mesa de giro
- Sistema propio de propulsión PAM (Payload Assist Module)
  - Motor de perigeo desechable
- Módulo de Asistencia (45 min. después) Motor de Apogeo
  - 80 segundos exactos encendido del motor. Ininterrumpida.
- Combustible sólido, consumo no uniforme, vector de empuje no alineado.
  - Girar el satélite.



**Figura 1.8 Configuración de un satélite almacenado en el compartimiento de carga de un orbitador. Un satélite de mayores dimensiones iría en posición horizontal.**

## 1.6 FACTORES QUE ALTERAN LA ESTABILIDAD DE LA ÓRBITA.

Las fuerzas que alteran la estabilidad de la órbita del satélite son:

1) La no uniformidad esférica del campo gravitacional de la tierra. El campo gravitacional que genera la tierra no es esféricamente uniforme porque:

a) La distribución de la masa del planeta no es homogénea.

b) La tierra no es una esfera perfecta, está achatada en los polos.

c) El círculo ecuatorial no es un círculo, es una elipse de muy baja excentricidad (El eje mayor es 150 mts. más largo que el eje menor).

2) La presión de la radiación solar sobre la superficie del satélite.

Este efecto es mayor en los satélites que tienen sus celdas solares montadas sobre paneles desplegados o extensibles (de Estabilización Triaxial). El principal efecto de esta fuerza es cambiar la excentricidad de la órbita del satélite, al mismo tiempo se produce un giro que cambia la orientación del satélite con respecto a la tierra y también tiende a acelerar al satélite. La presión de la radiación solar se denomina "Viento Solar" y es ocasionada por partículas sub-atómicas generadas por el sol.

3) El campo gravitacional combinado de la luna y el sol provoca:

a) Movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial (Norte/Sur).

b) Inclinación del plano orbital del satélite. Se inclina 1° por año, el cual se debe 30 % al sol y 70 % a la luna.

4) Fuerzas generadas por el mismo satélite.

a) Movimiento de los paneles solares.

b) Movimiento de las antenas.

c) Gasto no uniforme del combustible (sólido). Esto cambia el centro de masa del satélite.

d) La radiación radioeléctrica de las antenas del satélite. Es mucha potencia con un lóbulo de radiación muy angosto, es decir, es mucha energía concentrada en un área muy pequeña, provoca que el satélite gire. Para minimizar este efecto las antenas se colocan simétricamente.

5) Otras fuerzas:

a) El campo magnético de la tierra también produce una fuerza perturbadora, aunque su efecto es despreciable.

b) El impacto de meteoritos.

Las fuerzas 1 y 2 provocan:

a) Que el satélite gire sobre su propio eje.

b) Que la velocidad del satélite cambie o varíe conforme éste se desplaza (Aceleración/Desaceleración).

c) Desplazamiento Izquierda/Derecha (Este/Oeste).

Las maniobras de reposicionamiento se realizan cada 15 o 30 días.

El campo gravitacional de la tierra es la fuerza de mayor influencia sobre la posición y orientación del satélite, debido al gran tamaño que tiene el planeta y a la relativa cercanía de los satélites al mismo. El efecto de la luna y del sol es mínimo comparado con el efecto de la tierra sobre los satélites.

Se considera que el satélite está en "posición" mientras no se salga de un cubo imaginario con dimensiones (Ver figura 1.9):

- 85 Kms. de Fondo.
- 75 Kms. de Lado
- 75 Kms de Altura

75 Kms. equivale aproximadamente a 0.1 grados de arco.

Esto se calcula tomando en cuenta el radio de la tierra más el radio de la órbita geostacionaria, obteniendo el perímetro y dividiendo entre 360 grados.

- Radio de la Tierra = 6378.39 Kms.
- Radio de la órbita GEO  $\approx 36,000$  Kms.
- Radio de la Tierra + Radio de la órbita GEO =  $6378.39 + 36,000 \approx 42378.38$  Kms.
- El perímetro se calcula con:  $\text{Perímetro} = 2\pi r = (2\pi \times 42378.38 = 266,271.2146$  Kms.

$1^\circ$  de arco =  $\text{Perímetro}/360 \approx 266,271.2146 \text{ Kms}/360 = 739.6$  Kms.

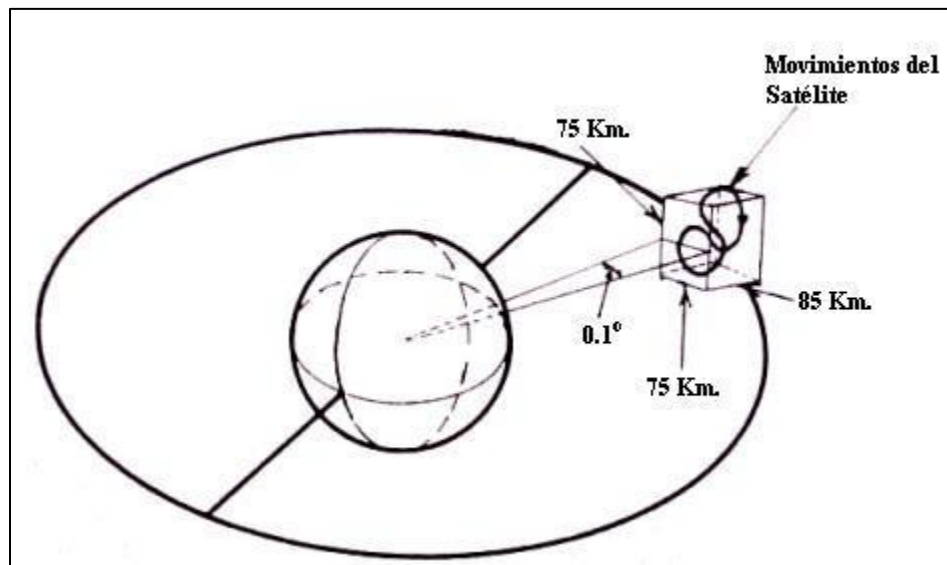


Figura 1.9 Diagrama de la caja imaginaria en la cual se considera que el satélite está en "posición".



## **1.7 FACTORES QUE ALTERAN LA ESTABILIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE.**

La temperatura: Es importante mencionar que los rangos de temperatura de operación de las partes y elementos que conforman el satélite son diferentes. Por ejemplo:

- 1) Celdas solares: de  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Las baterías recargables: de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Los tanques de combustible: de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En el espacio libre varias partes del satélite están expuestas a distintas temperaturas, de la noche al día las temperaturas pueden tener variaciones muy grandes. Típicamente la temperatura varía de  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Así pues, es necesario garantizar el control térmico del satélite, en un rango de operación, donde trabajen todos los componentes del satélite.

### 1.7.1 OTROS FACTORES DE PERTURBACIÓN:

1) Radiación ultravioleta del sol: Provoca ionización en los materiales y esto ocasiona que la conductividad de los dieléctricos aumente. También provoca cambios en las características de emisión y de absorción, degradando así la eficiencia de las celdas solares hasta en un 30%.

2) El Vacío casi absoluto: Provoca que los metales y semiconductores se sublimen y tiendan a evaporarse.

3) La condensación de gases: Cuando el gas se condensa en las superficies frías, se genera la posibilidad de que exista un corto circuito provocado por los dieléctricos.

4) Las partículas cósmicas: Provocan ionización de los plásticos, degradan la eficiencia de las celdas solares y desequilibran el balance térmico del interior del satélite.

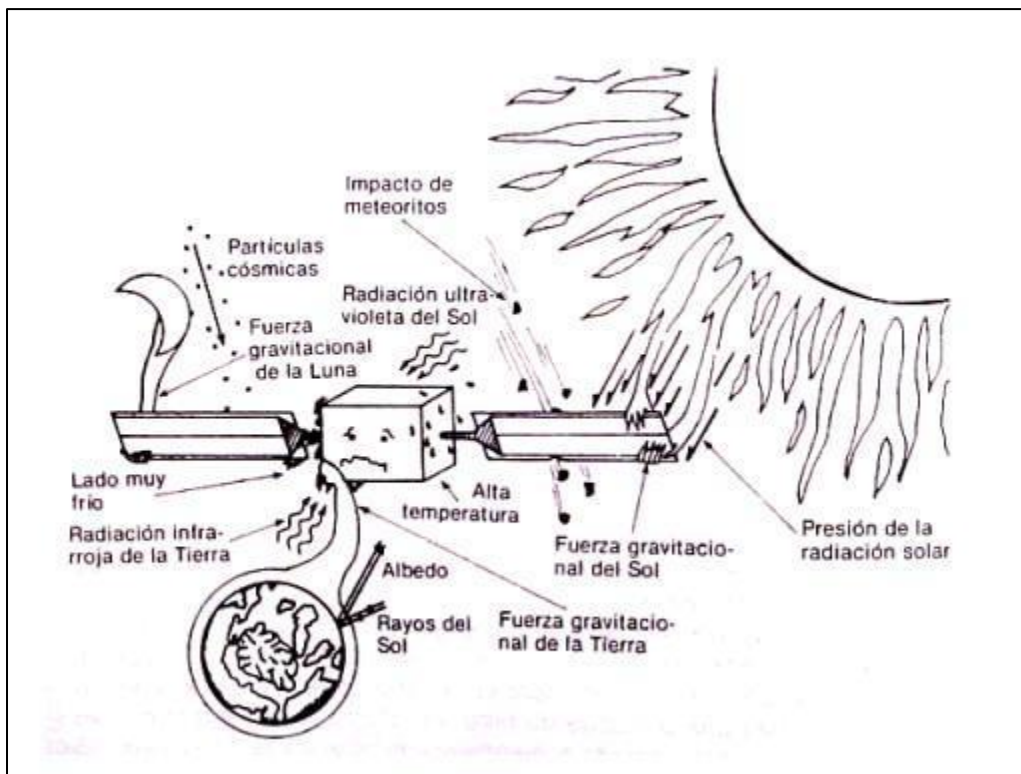


Figura 1.10 Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite.

## 1.8 AZIMUT Y ÁNGULO DE ELEVACIÓN.

### 1.8.1 Angulo De Elevación.

Es el ángulo formado entre la dirección del viaje de una onda radiada desde una estación terrena y la horizontal; o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal.

Entre más pequeño sea el ángulo de elevación mayor será la distancia que una onda propagada debe de pasar por la atmósfera de la tierra (ver figura 1.11 en el triangulo rectángulo y la hipotenusa,  $5^\circ$  es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable). La señal propagada a través de la atmósfera sufre atenuación y absorción, lo que significa que se contamina por el ruido. El movimiento de elevación se realiza de norte a sur.

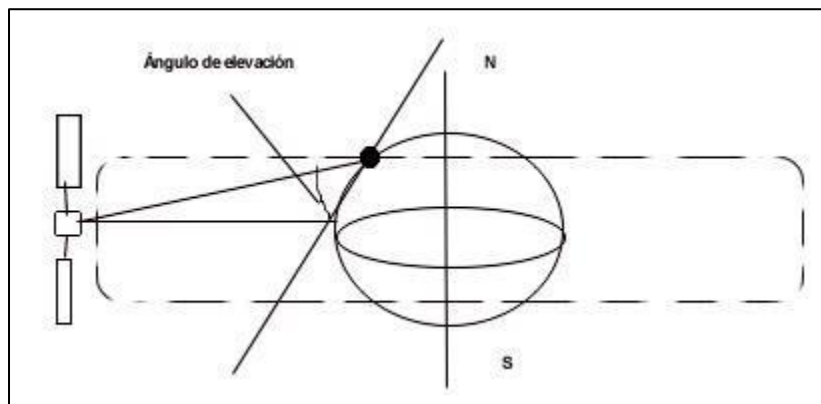


Figura 1.11 Representación gráfica de la elevación.

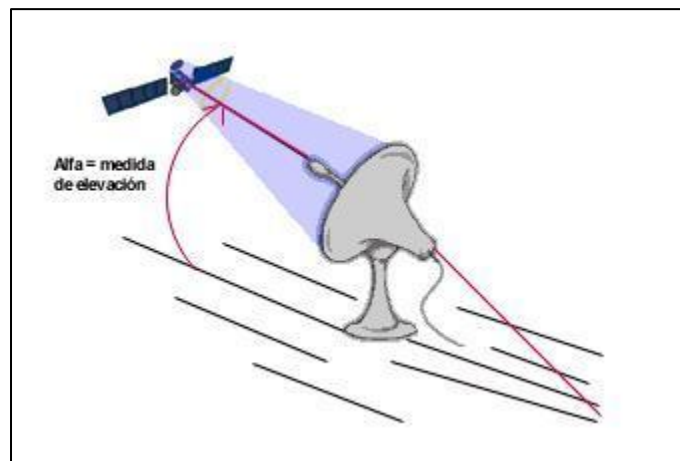


Figura 1.12 Medida de la Elevación.

### 1.8.2 Azimut.

Es el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. En otras palabras es la cantidad, en grados, que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj (con rotación al norte geográfico de la tierra para que ese mismo eje pase por la posición en longitud del satélite. El movimiento de azimut se realiza de derecha a izquierda.

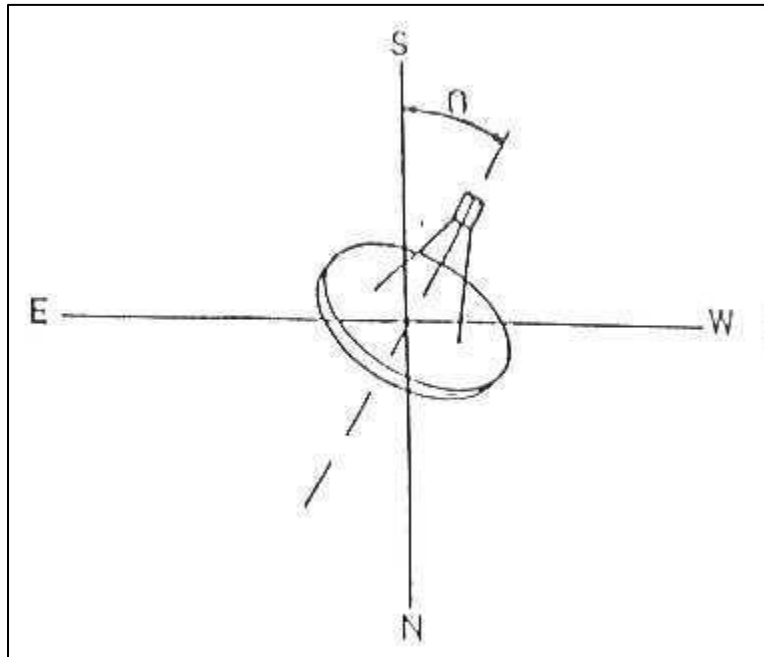


Figura 1.13 Vista de la medida de azimut.

El Angulo de elevación y el azimut dependen ambos de la posición de la estación terrena (latitud y longitud) así como de la posición del satélite en orbita (latitud y longitud).

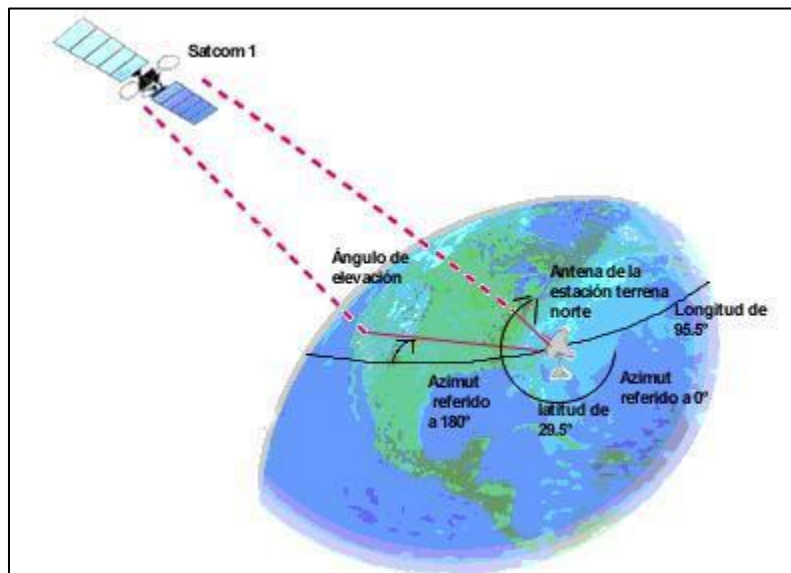


Figura 1.14 Azimut y ángulo de elevación.

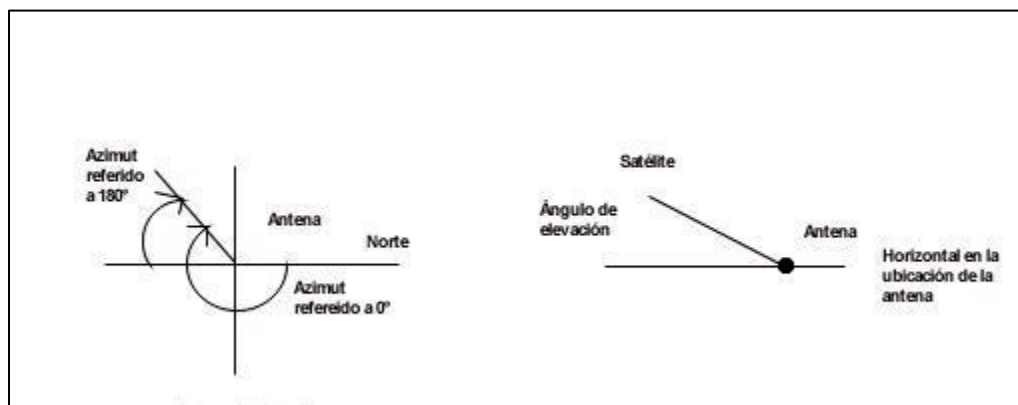


Figura 1.15 "Ángulos de vista".

## 1.9 PATRONES ORBITALES

- La fuerza centrífuga causada por la rotación alrededor de la tierra es contrabalanceda por la atracción gravitacional de la tierra, esto permite que el satélite se mantenga en orbita.
- Entre mas cerca de la tierra gire el satélite, mas grande será la atracción gravitacional y mayor será la velocidad requerida para mantenerlo alejado de la tierra.

### **Espaciamiento entre los satélites:**

- Los satélites geosíncronos comparten un espacio físico (limitado) y un espectro de frecuencias (también limitado) dentro de un arco específico en una orbita geoestacionaria.
- 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 para evitar interferencias mutuas.
- Hay un límite en cuanto al número máximo de satélites que pueden estar estacionados en un área específica del espacio.

### **La separación espacial depende de:**

1. Ancho de haz y radiación de los lóbulos laterales de la estación terrena y de las antenas del satélite.
2. Frecuencia de la portadora de RF.
3. Técnica de modulación y codificación utilizada.
4. Limites aceptables de interferencia.
5. Potencias de la portadora.

Dependiendo de estas variables se requieren de 2 a 6 grados de separación espacial como mínimo.

Recordemos que:

$1^\circ \text{ de arco} = \text{Perímetro}/360 \approx 266, 271.2146 \text{ Kms}/360 = 739.6 \text{ Kms}$ . Como lo habíamos visto anteriormente.

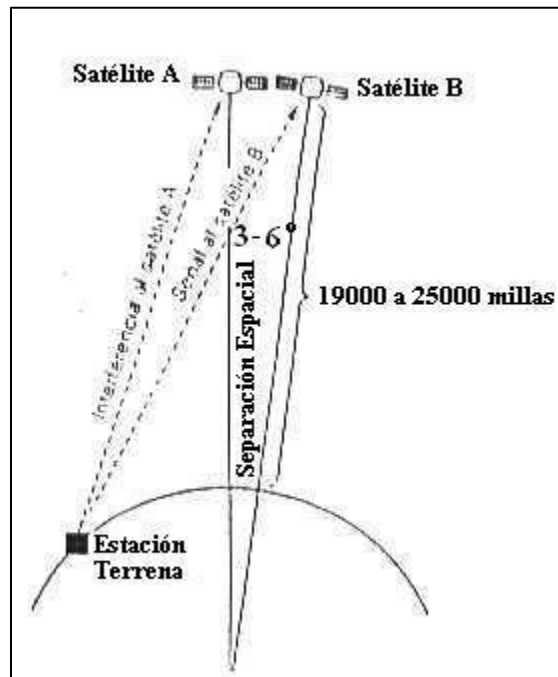


Figura 1.16 Espaciamento entre satélites.

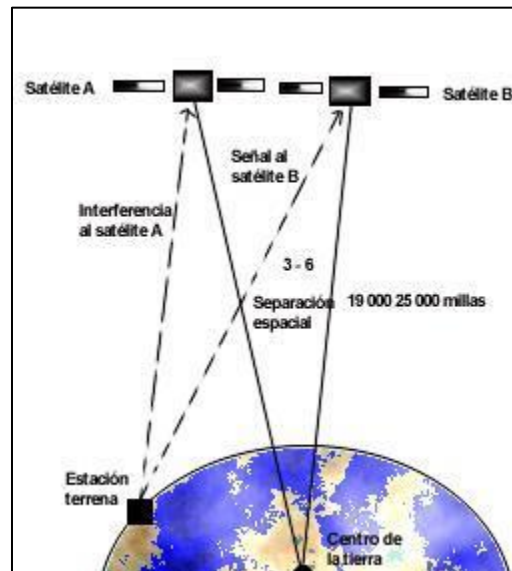


Figura 1.17 Separación espacial de satélites en una órbita geosíncrona.

## 1.10 Bandas de operación (L, S, C, Ku, Ka, X, Q, V)

La necesidad de utilización de una frecuencia radioeléctrica para cada enlace de radiocomunicación, junto con la enorme demanda de servicios de este tipo y los problemas de interferencias, implican que la asignación de frecuencias a las estaciones de radio sea un proceso complejo, que debe estar sujeto a una cuidadosa planificación.

Se resalta este requisito por el hecho de que el espectro radioeléctrico es un recurso de la naturaleza, aunque reutilizable, muy escaso, por lo que debe tratarse de optimizar su uso, de forma que puedan utilizarlo el mayor número de estaciones posibles, con un mínimo de perturbaciones mutuas.

“Como además, las ondas radioeléctricas no conocen fronteras, es necesario que la gestión tenga un alcance internacional. Por eso se creo un organismo internacional llamado UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) el cual establece los mecanismos de coordinación para la utilización de las frecuencias.”<sup>2</sup>

La capacidad de tráfico de un satélite esta limitado por dos factores: ancho de banda y potencia de los amplificadores; para el ancho de banda la UIT ha asignado para los satélites actuales de comunicaciones las bandas VHF, UHF, Y SHF. Estas bandas son muy amplias y han sido divididas por conveniencia en sub-bandas, también conocidas como “bandas”, así, UHF contiene a las bandas L y S mientras que SHF incluye a las bandas C, X, Ku y Ka, que son empleadas actualmente por satélites civiles y militares para diferentes tipos de servicios.

Los tres principales tipos de servicios definidos tanto por la UIT como por la FCC de los estados unidos son conocidos por las siglas FSS, MSS y BSS.

FSS: (servicio fijo por satélite) término genérico que se aplica a todo servicio de comunicaciones que no sea móvil ni de radiodifusión. La mayoría satélites corresponde a esta categoría

MSS: (servicio móvil por satélite) se refiere a toda comunicación entre dos puntos arbitrarios en tierra firme, aire o mar; uno de estos puntos puede estar cambiando de posición o bien ambos.

BSS: (servicio de radiodifusión por satélite) es una categoría especial en la que las señales transmitidas son recibidas directamente en los hogares.

Suele llamársele DBS o DTH.

### **ABREVIATURAS:**

Estas son algunas abreviaturas utilizadas en las transmisiones:

**FSS:** Fixed Satellite Service.

**MSS:** Mobile Satellite Service.

---

<sup>2</sup> HERNANDO, José María. Transmisión por radio. 4ta edición. Madrid: Centro de estudios Ramón Areces, 2003. Pág 26.



**BSS:** Broadcast Satellite Service.  
**DBS:** Direct Broadcast Service/Satellite.  
**DTH:** Direct-To-Home Service/Satellite.  
**BSS, DBS y DTH** se aplican al mismo servicio.

Cada servicio tiene sus propias bandas de frecuencia asignadas y los límites inferior y superior de cada una de ellas pueden variar dependiendo de la región.

Las bandas C, y Ku son las mas usadas actualmente por los satélites comerciales, pero como ya es casi imposible dar nuevas posiciones para mas satélites que trabajen en estas bandas sin interferir con satélites vecinos, también ha comenzado a ser aprovechada la banda Ka. Esta banda tiene un ancho de banda muy atractivo de 3,500 MHz, aunque no necesariamente tiene que ser empleado todo a la vez por cada satélite en cuestión, ya que se requeriría mucha potencia. Además, su principal desventaja es que cuando llueve los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en las bandas C y Ku; por ello la disponibilidad de diseño de los enlaces Ka es menor que la de los en bandas C y Ku. Finalmente la banda x esta reservada para transmisiones militares y gubernamentales.

Bandas de operación L y S:

Las bandas L y S son empleadas para comunicaciones móviles con ancho de banda limitado; la S también es empleada para ciertos servicios de recepción de TV. Las frecuencias de ambas bandas son cercanas a 1.5 GHz y 2 GHz.

Banda L: 1.5 a 1.6 GHz  
 Tx: 1626.5 a 1660.5  
 Rx: 1525.0 a 1559.0

**Tipo de enlace: ascendente / descendente**

Tabla 1.1 Frecuencias asignadas de los enlaces.

Banda	Ascendente (GHz)	Descendente (GHz)
<b>C</b>	6	4
<b>X</b>	8	7
<b>Ku</b>	14	11
<b>Ka</b>	30	20

Generalmente la menor frecuencia se utiliza como descendente y la mayor como ascendente. Se utilizan diferentes frecuencias (“bajadas” y “subidas”) para evitar interferencias por ejemplo las frecuencias en Banda C son 6 / 4 GHz. Esto nos indica que la señal “sube” con una frecuencia cercana a los 6 GHz y “baja” con una frecuencia cercana a los 4 GHz.

**Tabla 1.2 Frecuencias asignadas a cada banda, el ancho de banda se muestra en paréntesis.**

<b>Banda</b>	<b>Enlace ascendente (GHz)</b>	<b>Enlace Descendente (GHz)</b>	<b>Servicio</b>
<b>C: 6/4 GHz</b>	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (600 MHz)	FSS
	5.850 - 7.075 (1225 Mhz)	3.400 - 4.200 4.600 - 4.800 (1100 Mhz)	
<b>X: 8/7 GHz</b>	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)	Comunicaciones Militares
<b>Ku: 14/11 GHz</b>	14.0 - 14.5 (500 MHz)	10.950 - 11.200 11.450 - 11.700 (500 MHz)	FSS
	12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1000 MHz)	10.700 - 11.700 (1000 MHz) -	
<b>Ku: 14/12 GHz</b>	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)	FSS
<b>Ku: 17/12 GHz</b>	17.3 - 17.8 (3,500 MHz)	17.7-21.2 (3,500 MHz)	BSS
<b>Ka: 30/20 GHz</b>	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3600 MHz)	FSS
<b>Q/V: 50/40 GHz</b>	47.2 - 50. 2 (3, 000MHz) Banda V	39.5 - 42.5 (3, 000 MHz) Banda Q	FSS

**Tabla 1.3 Características de algunos sistemas de comunicación por satélite.**

	Westar	Intelsat V	SBS	Fleet Satcom	ANIK-D
Operador	Telégrafo Western Union	Intelsat	Sistemas de negocios satelitales	Departamento de defensa de EEUU	Telsat, Canadá
Banda de frecuencia	C	C y Ku	Ku	UHF, X	C, Ku
Cobertura	Cono	Global zonal punto	Cono	Global	Canadá, Norte de EEUU
No. de transponder	12	21	10	12	24
Transponder BW (MHz)	36	36	43	0.005-0.5	36
EIRP (dBW)	33	23.5-28	40-43.7	26-28	36
Acceso múltiple	FDMA, TDMA	FDMA, TDMA Reuso	TDMA	FDMA	FDMA
Modulación	FM, QPSK	FM, QPSK	QPSK	FM, QPSK	FM
Servicio	tele fija IIV	tele fija, TVD	tele fija, TVD	Militar móvil	tele fija

## 1.11 REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS

Como ya se sabe el espectro radioeléctrico es finito, así que, cuando se llena una banda de frecuencias es posible aumentar su capacidad mediante el uso de dos técnicas sin producir interferencias significativas:

Estas técnicas son denominadas reutilización de frecuencias y hay dos tipos de estas: con aislamiento espacial y con discriminación de polarización.

La reutilización de frecuencias con aislamiento espacial se realiza con antenas que produzcan muchas haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; las huellas de iluminación que estén lo suficientemente separadas entre si pueden emplear las mismas frecuencias, en la figura 1.18 se muestra el concepto de la reutilización de frecuencias, así, el mismo satélite transmite con el mismo bloque de frecuencias  $F_1$  en las regiones 1 y 3.

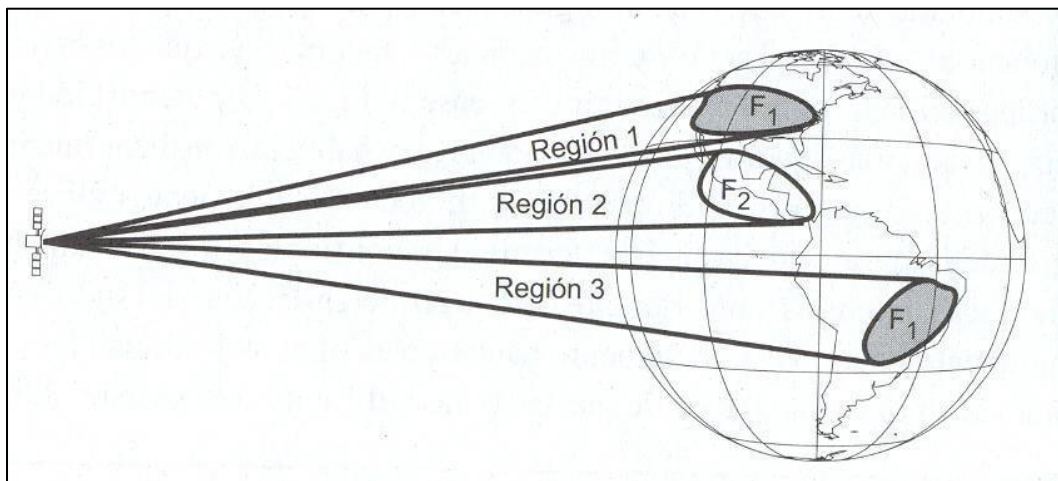
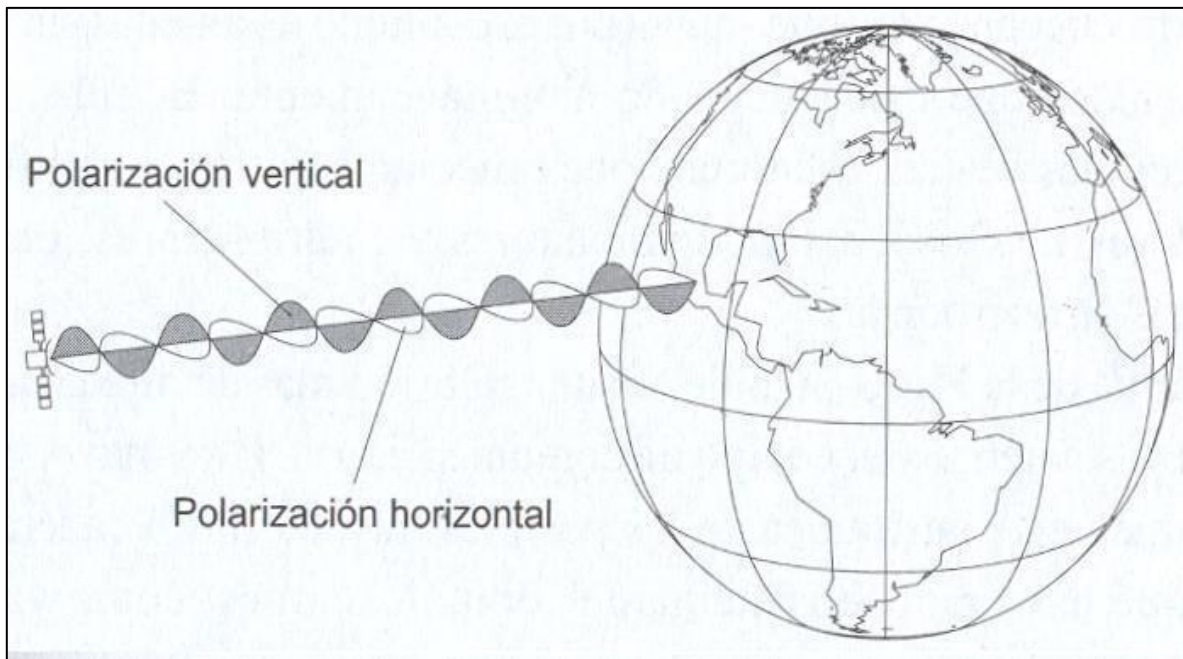


Figura 1.18 Ilustración de la reutilización de frecuencias con aislamiento espacial.

En cambio, la reutilización de frecuencias con discriminación de polarización es efectuada mediante la transmisión simultánea en un mismo haz, a la misma frecuencia, con señales de polarizaciones ortogonales. Recordemos que la polarización de una señal esta asociada a la dirección de su campo eléctrico; dos polarizaciones son ortogonales entre sí cuando sus vectores de campo eléctrico forman  $90^\circ$  en todo momento, es decir, el satélite radia dos haces traslapados que contienen señales diferentes. Los sistemas que emplean polarización circular tienen la ventaja de que sus antenas no necesitan orientación de polarización; en cambio, las que operan con polarización lineal si lo requieren. Sin embargo, los efectos de propagación sobre señales polarizadas circular o linealmente son diferentes, además que los alimentadores de las estaciones con polarización circular son mas caros.

Por esta razón la mayoría de los satélites emplean polarización ortogonal lineal (horizontal y vertical), aunque en la Banda C también es común emplear polarización ortogonal circular (derecha e izquierda). Cabe mencionar que un satélite puede emplear ambas técnicas de reutilización de frecuencias simultáneamente; es decir, puede radiar varios haces y frecuencias ortogonales a la vez, lo cual hace mas que duplicar el ancho de banda total aprovechado.



**Figura 1.19 Ilustración de la reutilización de frecuencias con discriminación de polarización.**

## 1.12 PROBLEMAS DE POLARIZACIÓN

La atmósfera de la tierra tiene una tendencia a reorientar o repolarizar una onda electromagnética conforme ésta la atraviesa, a este fenómeno se le denomina "Efecto Faraday".

El Efecto Faraday consiste en la desviación indeseable de la dirección del campo eléctrico de una señal de microondas cuya polarización es lineal.

El giro del vector de campo eléctrico, conocido como Rotación de Faraday, ocurre cuando la señal atraviesa las capas de la ionósfera, las cuales están cargadas eléctricamente debido a la radiación solar. Este giro puede ser muy grande, de hasta 150°.

Este efecto es muy importante en las bandas L y C (UHF), sin embargo, arriba de los 10 GHz deja de ser un problema (Bandas Ku y Ka).

La desviación de la dirección de campo eléctrico de una señal satelital tiene dos consecuencias:

1) La potencia que llega en la polarización deseada a la antena receptora disminuye, porque una parte de la potencia original de la señal se convierte en una componente ortogonal.

2) Si el enlace utiliza polarización horizontal y vertical simultáneamente, la componente ortogonal anterior se suma como interferencia a la señal original del enlace.

El primer efecto es una pérdida en la señal copolarizada y el segundo resulta en la creación de una componente de ruido con polarización cruzada.

A la polarización cruzada también se le conoce como despolarización de la señal y esto es grave cuando se utiliza polarización Vertical/Horizontal para el reuso de las frecuencias, también se le conoce como transpolarización.

### 1.12.1 DESPOLARIZACIÓN CAUSADA POR LLUVIA

Además del efecto Faraday, el cual ocurre en todo momento cuando las señales atraviesan la ionósfera, en el momento que llueve en la tropósfera y las señales que pasan a través de ella, son despolarizadas. El grado de despolarización es función de la forma y la orientación de las gotas de lluvia, de la frecuencia y polarización de la onda, y de la intensidad de la lluvia o número de gotas en el trayecto de la propagación.

La absorción por lluvia se refiere a la absorción de una señal RF (de Radio Frecuencia) por la lluvia o nieve. También se refiere a la degradación de una señal debido a la interferencia electromagnética del borde principal del frente de una tormenta. No necesariamente tiene que estar lloviendo en cierta localidad para que la señal se vea afectada debido a la atenuación por lluvia, pues dicha señal pudo haber pasado a través de lluvia o nieve a kilómetros atrás de distancia, sobre todo si la antena satelital tiene un ángulo de elevación muy bajo.

### 1.13 HUELLA DE UN SATÉLITE

La huella de un satélite es el área en tierra que cubren sus transpondedores, y determina el diámetro requerido por las antenas satelitales para que puedan recibir eficientemente la señal de dicho satélite. Pueden existir diferentes mapas para cada transpondedor (o grupo de transpondedores) ya que ellos pueden estar orientados para cubrir diferentes porciones de la tierra.

La "huella", "Huella de iluminación" o "Sombra" de un satélite es la representación geográfica del Patrón de radiación de la antena o antenas del satélite. Su área de cobertura, 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.

Los mapas de la huella satelital usualmente muestran el diámetro mínimo estimado de un plato satelital o la potencia de la señal en cada área, medida en dBW.

- El área de la tierra cubierta por un satélite depende de:
  - Ubicación del satélite.
  - Frecuencia de la portadora de RF.
  - Ganancia de las antenas.

En la figura 1.20 las líneas remarcadas representan los límites de la densidad de potencia de igual recepción.

El patrón de radiación se puede catalogar como:

- De Punto o Puntual o de Cono: Concentra la potencia máxima en un área muy pequeña.
- De Zona o Zonal: Área de cobertura menor a un tercio de superficie terrestre.
- De Tierra o Hemisférico: Ancho de Haz de  $17^\circ$  a un tercio de la superficie terrestre.
- Global.

### 1.13.1 REGIONES QUE SE DEFINEN EN EL SISTEMA DE SATÉLITES MEXICANOS

La señal es radiada por la antena del satélite en dirección de la superficie de la tierra, generalmente a manera de haces conformados, que describen las zonas de interés donde se desea dar el servicio de comunicación vía satélite que son conocidas como zonas de cobertura. A continuación mencionamos algunas regiones para el sistema de satélites mexicanos.

- R1: República Mexicana, Sur de Estados Unidos, Norte de Centroamérica. Transpondedores angostos y amplios. Banda C.
- R2: Centroamérica y norte de Sudamérica, únicamente 4 transpondedores de 36 MHz pueden conmutarse de R1 a R2 o R3
- R3: Sudamérica excepto Brasil. Banda C.
- R4: República Mexicana, Sur de Estados Unidos, parte de Guatemala y Belice. Banda Ku. Todos excepto 6K y 8K.

NOTA: Únicamente una parte del transpondedor 5K se emplea para comunicaciones en Banda L. Se emplea la parte alta del transpondedor, alrededor de 20 MHz.

- R5: Algunas ciudades de Estados Unidos, Canadá y Cuba. Únicamente se emplean los transpondedores 6K y 8K. El 6K es para México y el 8K para el extranjero.
- R6: República Mexicana y su mar patrimonial. Banda L, 5K.

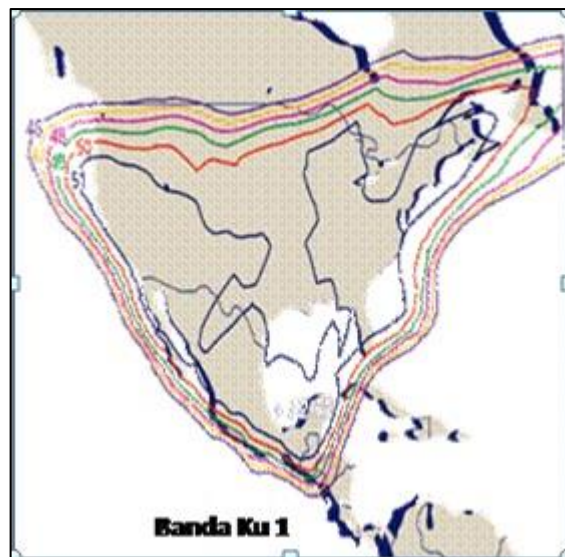


Figura 1.20 Representación de algunas "huellas" de diferente intensidad.



### 1.14 TRANSPONEDORES

Como segmento final de este capítulo daremos a conocer el uso de los transpondedores parte fundamental que hace posible la comunicación entre dos estaciones terrenas (transmisora y receptora) respectivamente.

“Recordemos que las señales recibidas por el satélite independientemente de su naturaleza, entran por un sistema de antenas, y después de procesarlas las retransmite de regreso a la Tierra.”<sup>3</sup> Los principales pasos del proceso si entrar en detalles, son amplificar la señal a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiar la frecuencia de la señal para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con la señales que estén llegando en ese momento.

El sistema realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores, multiplexores entre otros dispositivos de microondas.

En la figura 1.21 podemos apreciar el sistema de comunicaciones, cabe destacar que es necesario que los equipos instalados sea en redundancia, es decir, que se instalen repetidos para que la transmisión sea constante y no tenga ningún inconveniente y en caso de algún fallo el sistema pueda encontrar otra trayectoria, el dispositivo que hace posible el cambio de ruta de un elemento a otro se le denomina conmutador.

Así podemos decir que a la trayectoria completa de cada repetidor que comprende desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le denomina transpondedor.

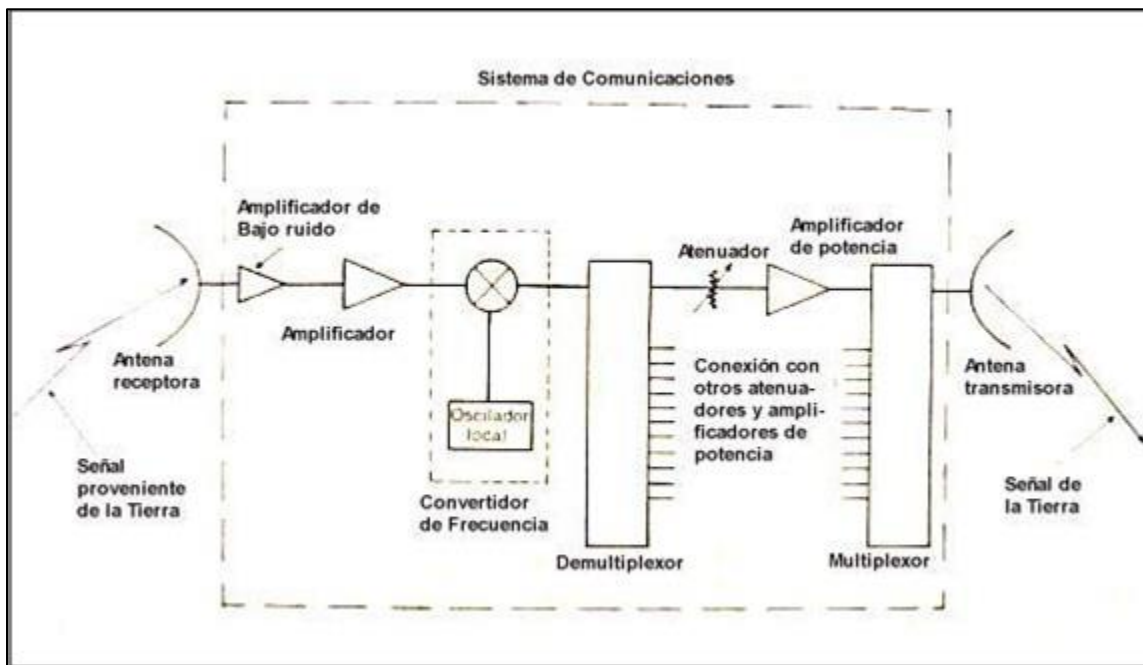


Figura 1.21 Diagrama básico de un transpondedor.

<sup>3</sup> TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas. 4ta edición. México: Prentice Hall, 2003. 948 páginas.

Un satélite puede tener varias antenas receptoras o solamente una, dependiendo de su diseño y aplicaciones, y cada una de ellas debe ser capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales de información, que serán amplificados por separado en los distintos transpondedores que componen el satélite. Es decir, las antenas transmisoras y receptoras deben tener un ancho de banda muy grande, lo suficientemente extenso para operar en las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente en las bandas C y Ku. Existen satélites denominados híbridos como es el caso de Satmex 6 (satélite en el cual trabajará la estación terrena móvil), que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente tanto en la banda C como en la banda Ku; esto duplica la capacidad en el número de canales que puede manejar el sistema al mismo tiempo; y por lo general estos satélites también usan reutilización de frecuencias, lo cual incrementa aún más el potencial del satélite.

En la banda Ku las frecuencias Tierra-satélite están entre los 14.0 y 14.5 GHz para el servicio fijo y las frecuencias satélite-Tierra están entre 11.7 y 12.2 GHz, con una frecuencia central de 14.25 GHz. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias pues su ancho de banda es mayor que 500 MHz. Los transpondedores cambian la frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro con de igual ancho de banda, pero cuyos límites superior e inferior son respectivamente 10.950 - 11.200 GHz; posteriormente, todas las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora para que las envíe de regreso a la Tierra; en este caso el enlace se representa con la nomenclatura 14/12 GHz.

El ancho de banda básico de un satélite usual es de 500 MHz en total y por conveniencia se divide en espacios o segmentos, cuyo número depende de la aplicación del satélite en la figura 1.22 podemos observar más claramente una división del ancho de banda de un satélite en 12 segmentos o espacios iguales de 36 MHz cada uno. Los espacios libres entre segmentos adyacentes se dejan para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada uno contiene, y por lo tanto se le denominan bandas de guarda.

Recordemos que la antena no solo capta las frecuencias de un solo transpondedor sino las frecuencias de los 12 transpondedores que lo componen, es decir, que por ella entran diversas clases de señales al mismo tiempo, pero para la antena esto no representa ninguna dificultad, aunque no es fácil construir aparatos electrónicos de alta potencia que realicen sus funciones de amplificación óptimamente con todas esas señales al mismo tiempo.

Por eso es necesario aislarlas y amplificarlas por separado, y esta es una de las razones principales por las que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores; después del proceso todas las señales se vuelven a juntar para que sean enviadas hacia la Tierra.

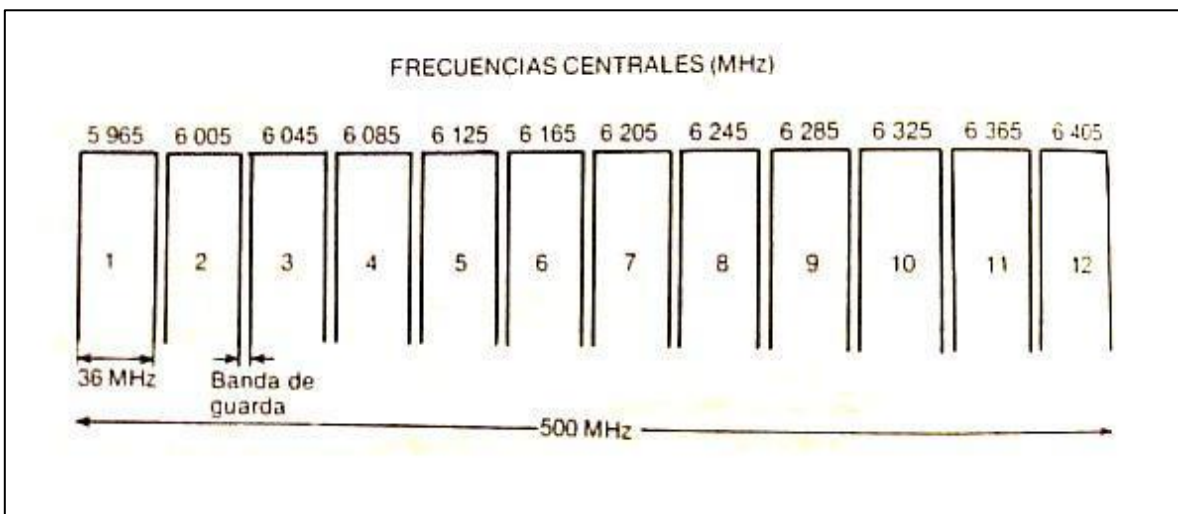


Figura 1.22 División del ancho de banda de un satélite usual.

Así podemos decir que en la figura 1.23 se observa el diagrama a bloques de un satélite común, y si miramos detenidamente podemos darnos cuenta de que este consta tanto de equipos de recepción con equipos de transmisión ya que la misión que realiza es la de retransmitir la señal, los cuales se describirán en el capítulo siguiente.

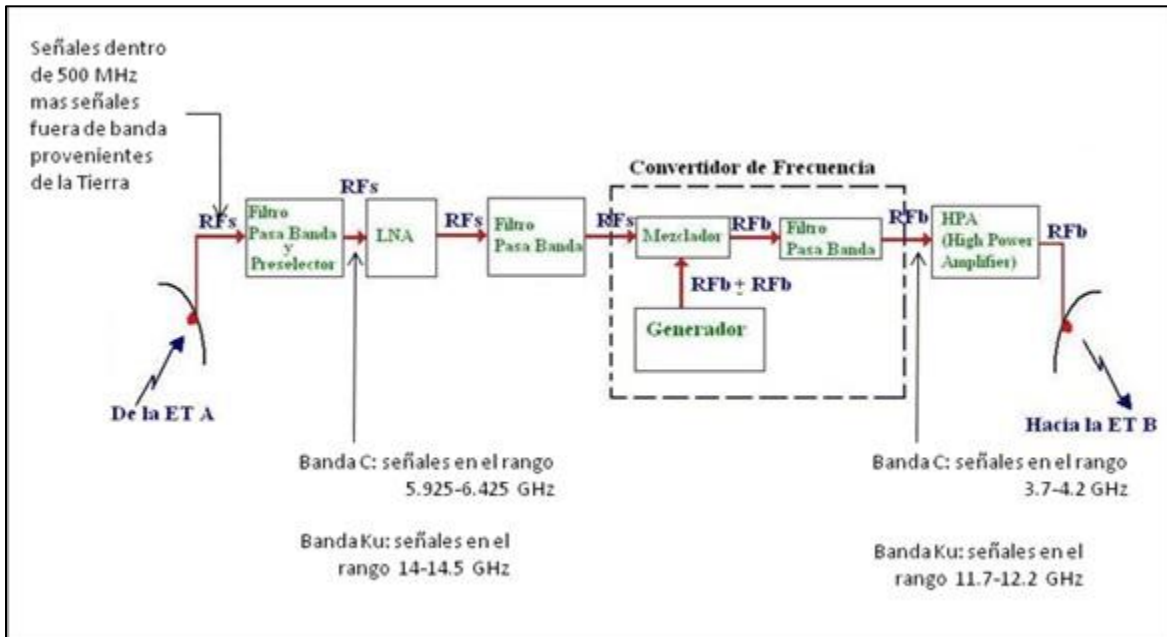


Figura 1.23 Diagrama a bloques de un satélite común.

## CAPITULO 2

### ESTACION TERRENA (FIJA Y MOVIL)

#### 2.1 ESTACIONES TERRENAS

Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es su antena o reflector parabólico (en la mayoría de los casos). El término “estación terrena” es utilizado indistintamente para indicar todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si esta fijo en algún punto, o si esta instalado en un barco, avión o cualquier vehículo terrestre como un autobús, un auto o un camión de carga.

En la figura 2.1 se ilustra el diagrama de bloques generalizado de una estación terrena pero, dependiendo de su aplicación particular, algunas estaciones son mucho más sencillas y carecen de uno o varios bloques indicados. Por ejemplo, las estaciones caseras de recepción de televisión solo requieren los bloques de la antena y el receptor, mientras que en algunas redes de recolección de datos las estaciones contribuyentes emplean fundamentalmente solo la antena y el transmisor; por sus características de radiación, todas las estaciones terrenas que tengan antenas pequeñas no necesitan sistema de rastreo, mientras que las de diámetro muy grande –como las de comunicaciones internacionales- si lo requieren para conservar su angosto haz directivo bien apuntado hacia el satélite; cuando una estación terrena satisface necesidades vitales o prioritarias de comunicación no se desea que deje de funcionar por posibles y eventuales fallas locales del suministro comercial de energía eléctrica, por lo que debe adaptársele su propia planta de respaldo, denominada comúnmente como sistema ininterrumpido de energía. Esta planta es fundamental, por ejemplo. En los centros de control de satélites

Por lo general, la misma antena es usada para transmitir y recibir, si es que su aplicación así lo requiere; para esto se interconecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado duplexor.

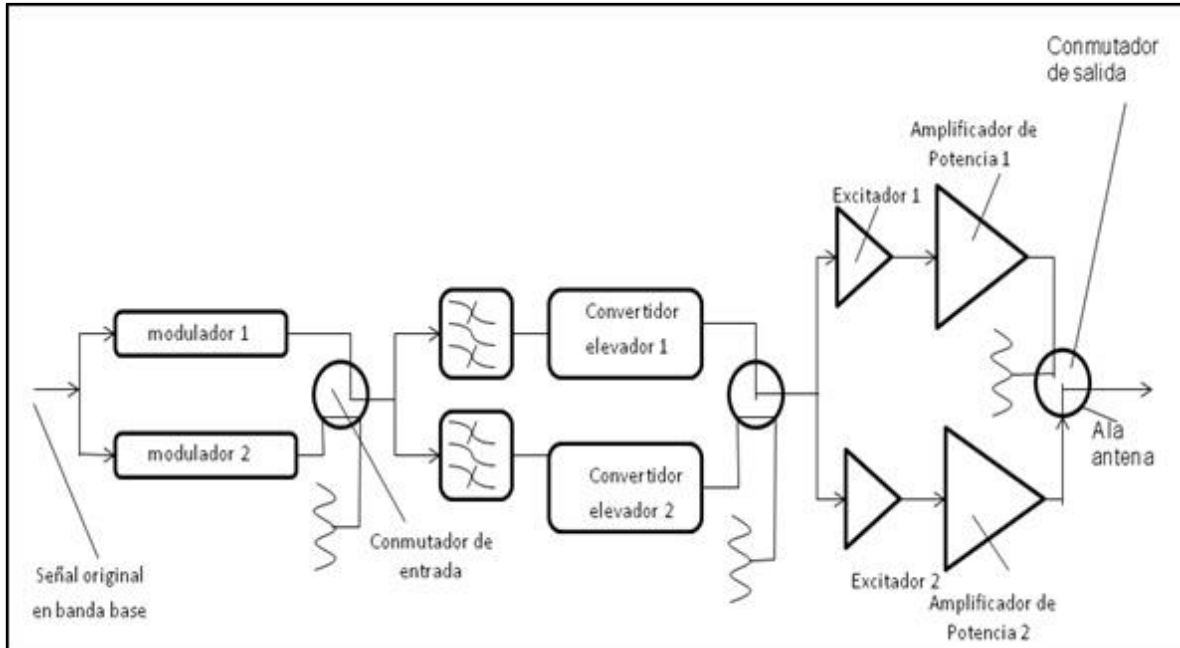
## 2.2 ESTACION TERRENA MOVIL

Una estación terrena móvil a la transmisión, se conforma básicamente por una antena de reflector parabólico, un amplificador de alta potencia, un amplificador de bajo ruido, convertidores de subida y/o bajada así como de uno o varios modem (en el caso de E/T para portadoras moduladas digitalmente) todo este equipo se encuentra en un módulo de pequeñas dimensiones. Esto se debe a la facilidad que deben tener para su movimiento. Cada uno de estos elementos reflejará una o varias de sus características en el cálculo del enlace.

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

1. Modem
2. Convertidor de subida
3. Amplificador de alta potencia
4. Antena transmisora

En la práctica se acostumbra tener redundancia por ejemplo se deben tener dos amplificadores de alta potencia, dos convertidores, dos moduladores esto con la finalidad de garantizar la ininterrupción del servicio de modo que aunque llegase a fallar o descomponerse uno, se tiene otro equipo de respaldo.



**Figura 2.1** Diagrama a bloques de la estación terrena móvil con polarización lineal en banda Ku con redundancia (1 +1).

Veremos ahora con un poco de detalle los principales elementos de una estación, en cuanto a su funcionamiento y características básicas. Al termino de este capítulo se podrá comprender mejor el funcionamiento de cada bloque del diagrama.

### 2.3 LA ANTENA

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibeles con relación a la potencia radiada o recibida por una antena isotrópica (dBi). Por lo tanto siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir algo, y la mínima en todas aquellas direcciones que no sean de interés o que presenten un alto riesgo de interferencia; de ahí que los lóbulos secundarios de radiación deban ser lo mas pequeños que se posible para que no capten señales indeseables de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas. Estrictamente la ganancia es una función y tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de la superficie, el tipo de alimentador con que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del misma. Cuanto mayor sea el diámetro de la antena parabólica, mayor es su haz o lóbulo principal de radiación es mas angosto y los lóbulos secundarios se reducen. Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en un punto común llamado foco (modo de recepción); asimismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación (modo de transmisión). Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloides de revolución que representa matemáticamente la antena y en el se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta o bocina, el tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de los lóbulos.



### 2.3.1 ANTENA PARABOLICA CON ALIMENTADOR FRONTAL

Una antena muy usual para estaciones terrenas fijas es la antena parabólica con alimentación frontal, en ella el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia esta orientada hacia el suelo; esto ultimo presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida, al sumarse muy posiblemente fuera de fase las señales directas hacia arriba y las reflejadas por el suelo. Asimismo, si la antena esta recibiendo del satélite, los rayos u onda que incidan sobre el piso cerca de la antena son reflejados hacia el alimentador y también pueden causar una degradación en la calidad de la señal recibida al sumarse fuera de fase con los rayos directos que son reflejados por el plato parabólico.

El desborde de la radiación del alimentador puede ser reducido si se aumenta el diámetro de la antena o si se utiliza un alimentador de mayor directividad (mas complicado de fabricar y normalmente de mayores dimensiones) haciendo a la antena mas voluminosa. A pesar de estas desventajas esta antena resulta fácil y económica de construir, y para ciertos fines su operación es satisfactoria, especialmente en banda C.



**Figura 2.2** Antena parabólica con alimentación frontal.

### 2.3.2 ANTENA OFFSET

Dado que la antena parabólica es usada en estaciones terrenas fijas es conveniente describir la antena propuesta para la unidad terrena móvil la cual es conocida como antena offset.

“Este tipo de antena es más eficiente que cualquier otra y su ganancia es mayor, pero su precio también es más alto. Se utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas fijas y móviles, así como en todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de telefonía y datos.”<sup>4</sup>

Su configuración geométrica contiene un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado subreflector. Y el alimentador o bocina ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la Tierra sino principalmente por emisiones de la atmosfera. Los ejes del paraboloide, el alimentador y el hiperboloide coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria de alimentación frontal menos cóncava y con un alimentador mucho mas alejado de su vértice; de esta forma, la parábola equivalente captura mejor la energía radiada por la corneta y el desborde se reduce significativamente.

Este tipo de antena es muy aceptada en la actualidad para su uso en las bandas C, Ku y Ka.

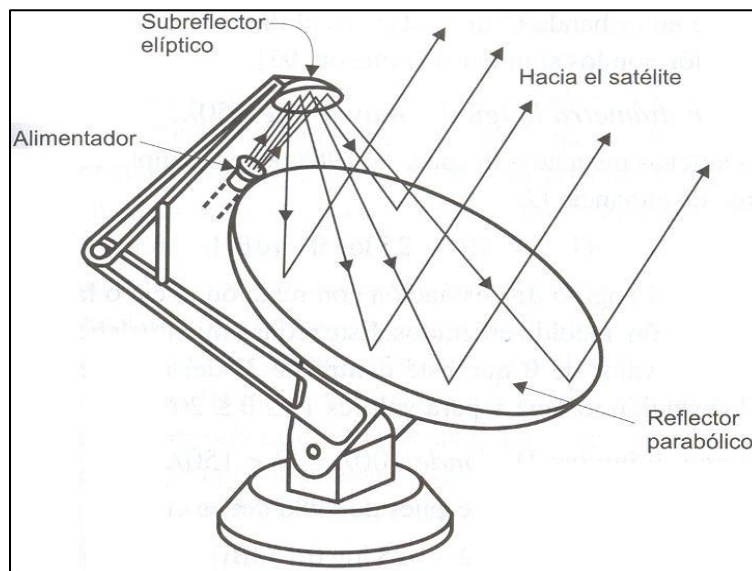


Figura 2.3 Diagrama del funcionamiento de una antena off-set.

<sup>4</sup> NERI VELA, Rodolfo. Comunicación por satélite. México: Thomson, 2003. 544 págs.

### 2.3.3 ALIMENTADORES

Los alimentadores para estaciones terrenas de uso comercial generalmente son del tipo de antenas de corneta, ya sea con apertura rectangular (corneta piramidal) o circular (corneta cónica) y pueden realizar diversas funciones, entre ellas: iluminar adecuadamente el reflector principal o al subreflector, separar señales en las bandas de transmisión y recepción, separar y combinar polarizaciones (si el sistema es de doble polarización), y aportar señales de error de apuntamiento en los sistemas de rastreo.

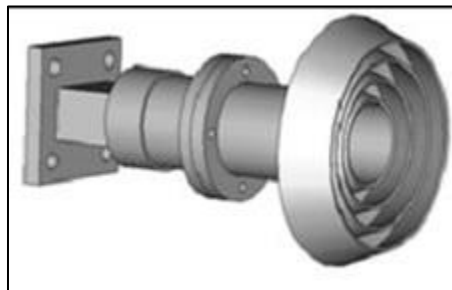
Las cornetas son guías de ondas que se van ensanchando para acoplar mejor las impedancias del espacio libre y de la propia guía; asimismo conforme el ensanchamiento aumenta, la directividad de la corneta crece.

Las cornetas cónicas son las más empleadas en las estaciones terrenas, pueden operar en polarización lineal o circular, y las hay de tres tipos: de modo único, multimodo y modo híbrido, según su forma de excitación.

Las cornetas de modo único son excitadas con el modo fundamental pero su radiación no es simétrica en los plano E y H, además del inconveniente de que sus propiedades de polarización cruzada no son adecuadas para los sistemas de doble polarización.

Las cornetas multimodo resuelven los problemas antes mencionados, ya que ofrecen mayor ancho de banda, menos polarización cruzada y lóbulos laterales mas pequeños.

La corneta de modo híbrido mas utilizada es la denominada corneta corrugada, en el cual el modo de propagación es excitado o producido usando aros anulares en el interior de la corneta, su costo de manufactura es mayor que el una corneta de modo único.



**Figura 2.4** corneta corrugada con alimentador.

## 2.4 EL TRANSMISOR

Un equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador y amplificador de alta potencia. Después de que una señal ha sido generada o producida y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje o multiplexación, ya sea en frecuencia o en el tiempo, se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire y el vacío hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera con otras señales; este acondicionamiento permite que se le pueda recuperar fielmente (o con la mayor aproximación posible) en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia se sumamente bajo al llegar. El proceso electrónico que se efectúa con este fin es la modulación de una portadora por la señal, y existen varios tipos del mismo; los más comunes son el analógico de modulación en frecuencia (FM), y el digital de desplazamiento de fase (PSK).

“El modulador de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas.”<sup>5</sup> Este paso de la señal modulada a frecuencia intermedia es el primero en su ascenso de conversión a microondas. Aunque el modulador coloca la señal modulada en una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo que es necesario subirla más en frecuencia, empleándose para ello un equipo convertidor elevador en frecuencia.

---

<sup>5</sup> Ibidem. 544 págs.

### 2.4.1 MODEM

Los modem general la señal modulada a transmitirse, conjuntando las características deseadas de la señal moduladora y de la señal portadora, la primera es la señal de información en formato digital, proviene de las fuentes de información y la segunda, la señal portadora, típicamente es una señal senoidal generada internamente en el modem. La señal portadora es modulada digitalmente en fase (PSK) en la mayoría de los casos. “Estos equipos proporcionan a su salida el rango conocido como **frecuencia intermedia** y admiten a su entrada el rango **banda base**.”<sup>6</sup>

En la entrada de los modem la señal digital (moduladora) tiene una característica de velocidad digital dada en bits por segundo; esta velocidad esta estandarizada en velocidades que van desde los 48 Kbps hasta los 70 Mbps y aún mayores.

Las características técnicas relevantes para nuestro uso son: la agilidad para sintonizar frecuencias que tiene el equipo, conocida como los pasos de sintonía del modem, las velocidades digitales que maneja, el tipo de modulación que maneja, el valor del roll off de sus filtros.

### 2.4.2 EL CONVERTIDOR ELEVADOR

El convertidor de subida es el equipo que eleva la frecuencia de la señal modulada desde el rango de frecuencia intermedia (FI), hasta el de radiofrecuencia ya sea en la banda KU o en cualquier banda. Este transfiere la señal de la frecuencia intermedia a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador, por ejemplo, la nueva señal puede estar centrada aproximadamente a 6 GHz, 14 GHz, o 30 GHz, dependiendo de la banda de operación (C, KU, K). La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela; para esto se utiliza un amplificador de alta potencia.

---

<sup>6</sup> Curso de calculo de enlace vía satélite para señales moduladas digitalmente en la banda ku. México: Satmex. Pag 4

### **2.4.3 EL AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPA)**

El amplificador de alta potencia le proporciona a la señal modulada la potencia necesaria para llegar al satélite con el nivel necesario, y así, obtener la potencia requerida a la salida del satélite y con ello lograr el enlace. Existen tres tipos principales de amplificadores de alta potencia, los Tubos de Onda Progresiva (TOP en español o TWT en nomenclatura inglesa), los Amplificadores de Estado Solido (SSPA en inglés) y los Klistron; sea el tipo que fuere el amplificador, su principal parámetro técnico para esta aplicación es su potencia nominal.

#### **2.4.3.1 TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS (TWT)**

Es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, el cual abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 MHz o más), por lo que puede amplificar simultáneamente las señales dirigidas hacia distintos transpondedores.

Sus características de operación son satisfactoriamente uniformes o constantes a cualquier frecuencia, pero cuando muchas señales distintas son amplificadas simultáneamente su potencia de salida debe mantenerse por debajo del máximo nominal; de no hacerlo el ruido de intermodulación sería muy grande.

Por esta razón el TWT debe ser operado en un nivel de potencia de salida bajo, con la consiguiente pérdida de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida (back off). A pesar de este inconveniente los TWT se utilizan más que los Klistrones ya que en los TWT se puede realizar cualquier tipo de modificación en la frecuencia central de amplificación dentro del ancho de banda de operación del satélite sin tener que sintonizarlos, además de que no hay que emplear un combinador especial de señales a la salida, como se usa con los klistrones cuando se emplea más de uno.

### **2.4.3.2 KLISTRON**

Es un amplificador de banda estrecha consiste en múltiples cavidades resonantes que deben ser sintonizadas a sus frecuencias centrales correspondientes. Su ancho de banda es suficiente para manejar uno o dos canales de televisión analógicos, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión. Cuando una estación terrena utiliza varios klistrones y desea transmitir toda la información procedente de ellos a través de una misma antena, se necesita usar un combinador o mezclador de señales que introduce pérdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por back-off en los tubos de ondas progresivas. Asimismo, cuando se requiere cambiar de transpondedor en el satélite, es preciso volver a sintonizar al klistrón.

Varios usuarios eligen usar klistrones en sus instalaciones porque su eficiencia (40%) de aprovechamiento de energía eléctrica es mayor que la de los TWT; son muy confiables y robustos, son más económicos que un tubo de ondas progresivas. Particularmente son utilizados para transmitir canales de televisión y en estaciones terrenas de poca potencia.

### **2.4.3.3 AMPLIFICADOR DE ESTADO SOLIDO (SSPA)**

Consiste de varias etapas o módulos de amplificación, a diferencia de los TWT. Las etapas en tándem o en cascada van incrementando la ganancia del amplificador, lo cual permite tener niveles bajos a la entrada. Una característica muy importante de los amplificadores de estado sólido es que no requieren de voltajes muy elevados, ni de un cátodo que se va desgastando con el tiempo, como es el caso de los TWT. Sin embargo son muy sensibles al calor y deben conservarse frescos en su medio de operación.

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

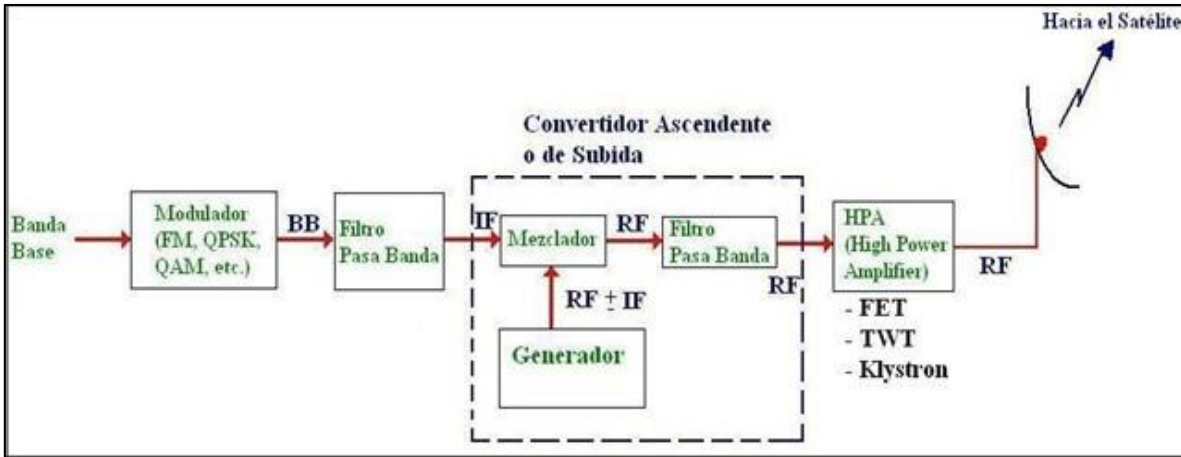


Figura 2.5 Diagrama a bloques que nos muestra los cambios de la señal a través de los equipos.

Por ultimo, es importante señalar, que antes de su adquisición, las características del equipo de transmisión se deben determinar tomando en cuenta el posible crecimiento futuro del tráfico de la estación terrena para que sea capaz de suministrar los requisitos de potencia y ancho de banda de futuras señales adicionales que la estación pueda transmitir a lo largo de su vida útil.

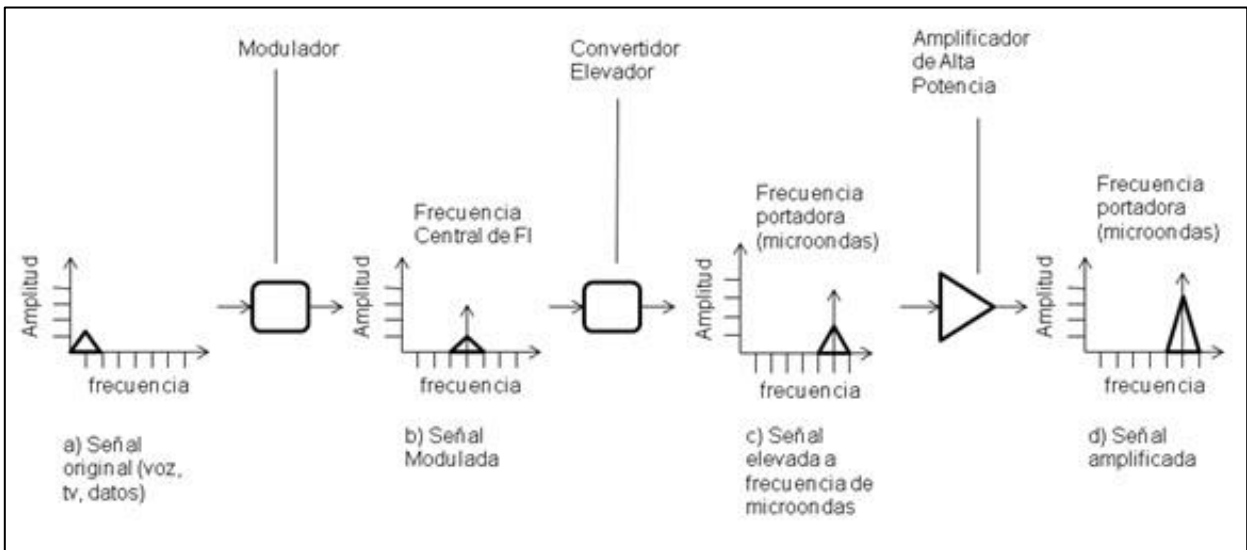


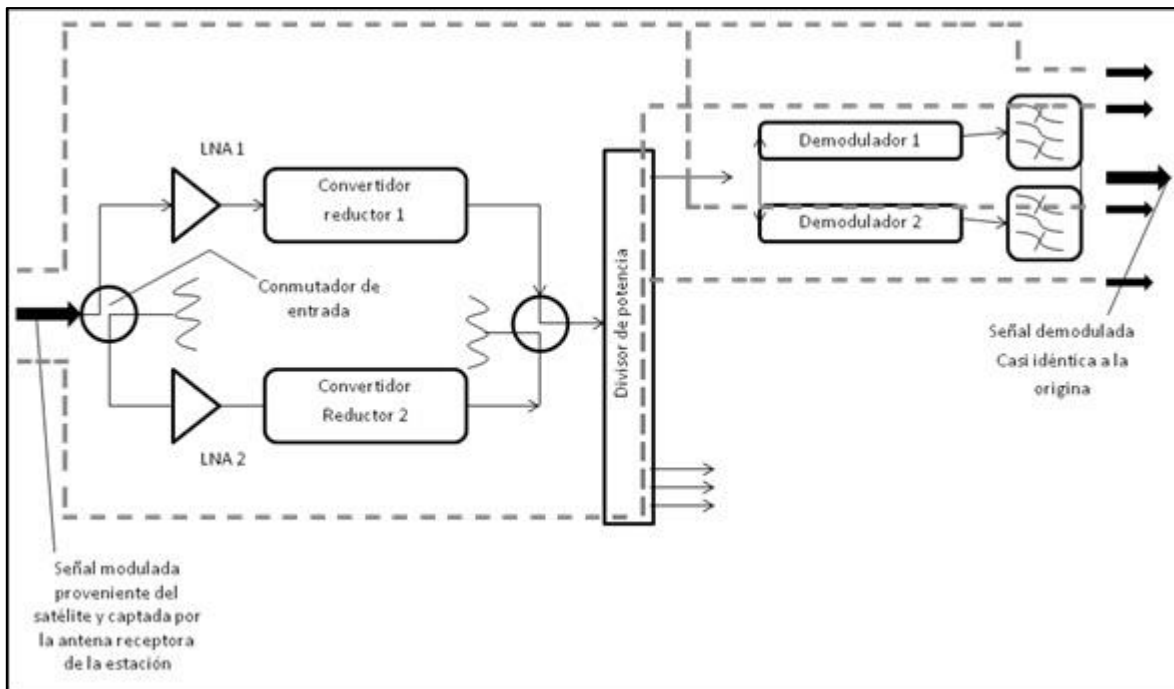
Figura 2.6 Diagrama del proceso que lleva la señal a la transmisión.



## 2.5 EL RECEPTOR

Recuérdese que un satélite de comunicaciones funciona como un gran espejo direccional en el espacio; la señal retransmitida por el es casi idéntica a la que recibe desde la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencias mas bajas en el espectro radioeléctrico y por supuesto, es amplificada. En su trayectoria de regreso hacia la Tierra, la señal viaja un promedio de 36 000 Kms y por lo tanto, su nivel de potencia al llegar a las antenas de las estaciones receptoras es sumamente bajo.

En términos generales la estación receptora capta a través de su antena la señal proveniente del espacio, la amplifica, disminuye su frecuencia y demodula.



En la figura 2.7 Diagrama donde se muestra la configuración básica del bloque de recepción.

La antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas en la polarización y banda de frecuencias con las que funciona, o sea, información de muy diversos tipos dentro de un ancho de banda usual de 500 MHz, sin embargo, lo común es que en cada estación en particular solamente sea de interés recibir una pequeña porción de toda esa información, concentrada quizá en un ancho de banda de tan solo 5 MHz o aún menos. Es decir, que la estación después de capturar y amplificar toda esa información, debe separar o extraer solo aquella parte que le corresponda para procesarla y dirigirla a su destino final. Hay que tomar en cuenta que posiblemente la información dirigida a una estación en particular provenga de diferentes estaciones terrenas transmisoras que funcionen con distintos transpondedores en el satélite; por lo tanto, esas señales ocupan posiciones diferentes dentro de los 500 MHz del ancho de banda del paquete de información que el satélite retransmite y, en consecuencia, la estación receptora debe extraer únicamente las porciones que le interesen, y que no necesariamente son adyacentes en frecuencia.

Después de haber viajado los aproximadamente 36 000 km de distancia entre el satélite y la E/T receptora, la señal de comunicación llega a la antena de la estación receptora, que la concentra y dirige hacia el amplificador de bajo nivel de ruido. Las características relevantes de la antena en recepción son su ganancia y su **temperatura de ruido**.

Las antenas utilizadas en estas aplicaciones, son sumamente directivas, es decir, que presentan ganancias muy altas en una dirección determinada; lo anterior es necesario debido a los bajos niveles de potencia que llegan a la tierra provenientes del satélite, en el caso de las redes con comunicación bidireccional que utilizan antenas transreceptoras puede observarse que la ganancia a la recepción en función de la dirección angular de la antena (patrón de radiación) tiene el mismo comportamiento que en la transmisión, salvo que su valor es inferior, debido a la diferencia de las frecuencias de descenso respecto a las de ascenso.

La temperatura de ruido de la antena corresponde a la cantidad de ruido que es captado por la antena y que se introduce al sistema degradando el funcionamiento tanto de la estación terrena como de la estación receptora.

La antena capta la energía del espacio hacia donde está apuntada, y si la tierra se comporta como un cuerpo "caliente", es decir que genera una cantidad significativa de ruido, por tanto, a mayor ángulo de elevación de la antena es menor la temperatura de ruido de la antena ya que apunta menos a la tierra.

### 2.5.1 EL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA)

Una vez recibidas las señales provenientes del satélite son entregadas a través de un duplexor hacia el amplificador de bajo ruido (LNA); el cual es un dispositivo encargado de amplificar la débil señal recibida por la antena de la E/T. La característica de bajo ruido de éstos amplificadores es la de agregar un mínimo de ruido a la señal amplificada, siendo que ésta señal, proveniente del satélite tiene un nivel tan bajo de potencia, que la hace vulnerable y si fuera tratada por un amplificador sin la característica de bajo ruido, la potencia de la señal de información se perdería en el ruido generado por dicho amplificador. La principal característica de éste amplificador es su temperatura de ruido, y en tanto esta temperatura sea más baja, será mejor su comportamiento.

La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora, y juntos definen la calidad de su operación (en la primera etapa de recepción). Para fines de recepción, la ganancia de la antena es su parámetro más importante. Por su parte, el amplificador de bajo ruido tiene una “temperatura de ruido” como su principal parámetro indicativo, y mientras esta sea más baja, tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta.

Sin embargo no solo se introduce ruido en la señal a través del amplificador de bajo ruido, si no también por la antena, y su magnitud se calcula en función de una “temperatura de ruido de la antena”; la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido referidas al mismo punto, determinan casi completamente la temperatura total  $T$  de ruido del sistema de recepción, para condiciones de cielo despejado.

De las características de ganancia y de temperatura de la antena, así como de la temperatura del LNA, obtenemos la **Figura de merito** o **G/T** de la estación terrena, que es la calidad de estación como receptora. Mientras mayor sea el valor de la G/T, mejor es el comportamiento en recepción de la E/T.

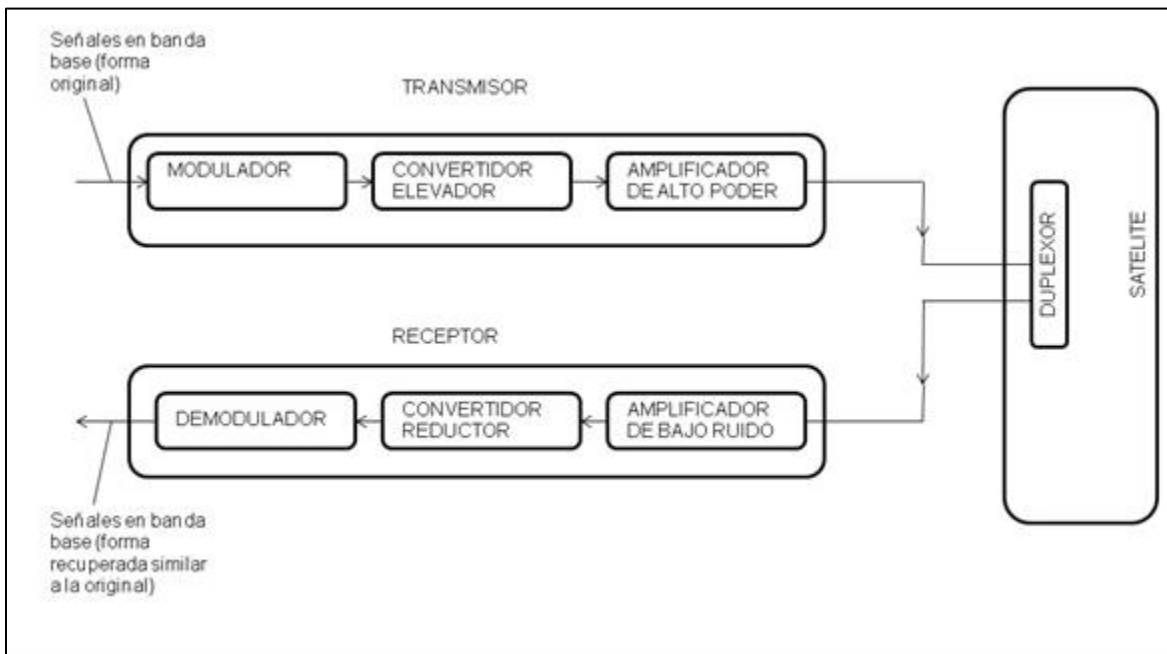
El valor del cociente G/T es una cantidad que se utiliza comúnmente para definir las cualidades de recepción de una estación terrena y según el satélite con el que se comunique, debe tener un valor mínimo para funcionar aceptablemente.

Para la relación conocida **factor de calidad**, o **figura de merito** es necesario observar sus unidades y como la ganancia de la antena esta dada en decibeles y la temperatura de ruido en grados Kelvin, sus unidades serán dB/K.

De acuerdo con lo anterior y como el nivel de potencia de la señal a su llegada a una estación terrena receptora es muy bajo, el amplificador de bajo ruido debe ser altamente sensible, es decir, que el ruido interno generado por el (temperatura de ruido) sea lo más bajo posible.

La temperatura de ruido del amplificador es en función de varios parámetros como la ganancia, las características de sus componentes, y la temperatura física de ellas. Si la temperatura física se logra reducir, entonces la “temperatura de ruido” también baja; por lo tanto, es deseable enfriar al amplificador lo más que se pueda, en ocasiones hasta temperaturas cercanas al cero absoluto, además de colocarlo lo más cerca posible del duplexor de la antena para reducir las pérdidas por tramos de guías de ondas y conectores.

Muchos de los amplificadores de bajo ruido actualmente instalados y en operación son paramétricos (su circuito de microondas emplea un diodo varactor) o bien amplificadores con transistores de efecto de campo (FET) de arseniuro de galio (GaAs). Estos últimos son más estables y menos complicados para alimentarlos de energía, aunque su temperatura de ruido es ligeramente mayor que la de los amplificadores paramétricos. Por norma general, las estaciones grandes usan amplificadores paramétricos y las pequeñas amplificadores FET. Sin embargo. Los LNA fabricados con la tecnología mas moderna, tanto para las bandas C, KU, y Ka, emplean transistores más avanzados conocidos por sus siglas HEMT y que brindan temperaturas de ruido más bajas.



**Figura 2.8 Diagrama del proceso completo de la señal en un enlace.**

## 2.5.2 CONVERSION DE FRECUENCIA, DEMODULACION Y CALIDAD DE RECEPCION

Observando el diagrama de bloques en la fig. 2.7, se observa que después del amplificador de bajo ruido van conectados en cadena un convertidor reductor de frecuencias y un demodulador, sin contar algunos filtros intermedios. Una vez que la señal es amplificada, pasa por varias etapas de conversión en frecuencia en donde se le disminuye la frecuencia desde los niveles de radiofrecuencia hasta los de frecuencia intermedia (es decir 70 MHz o 140 MHz dependiendo del sistema). Cuando la señal esta en el rango de la frecuencia intermedia, llega al modem en su etapa demoduladora, que se encargará de proporcionar la información en la banda base.

La señal de salida del amplificador contiene toda la información radiada por el satélite en una banda de operación con ancho de 500 MHz, situada aun en la misma región del espectro radioeléctrico; el convertidor reductor tiene en como función transferir toda esa información de 500 MHz a una región más baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia (FI) de recepción, es decir, haciendo una operación inversa al convertidor elevador de la estación transmisora.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso, bajando de la frecuencia de llegada a la antena (que es la misma frecuencia en la que opera el amplificador de bajo ruido) hasta la frecuencia intermedia FI que se le deba entregar al demodulador. El proceso también se puede hacer en dos pasos y se prefiere así cada vez más en las estaciones terrenas modernas, porque es más fácil sintonizar los equipos de recepción en cualquier región del ancho de banda de transmisión del satélite. Esto es importante, porque el plan original de uso de las frecuencias de transmisión del satélite puede variar con el tiempo (es decir, cambiar la posición de las portadoras a otras frecuencias), en uno o en todos sus transpondedores, o tal vez bajo circunstancias drásticas sea necesario cambiar de satélite, y la frecuencia de trabajo del convertidor reductor puede ser ajustada más fácilmente si se usa doble conversión, es decir, la señal se baja a una frecuencia intermedia que suele variar entre 800 MHz y 1.7 GHz y después se vuelve a bajar hasta la segunda frecuencia intermedia, que puede ser de 70 a 140 MHz. Para las estaciones que utilizan esta técnica se dice que tiene “agilidad en frecuencia”.

En la actualidad comúnmente los fabricantes producen el LNA integrado al convertidor reductor de frecuencia en un solo bloque; ambos van contenidos dentro de la misma caja blindada y el producto es conocido como “convertidor de bajo ruido” o LNC, o como “convertidor reductor de bloque de bajo ruido” o LNB.

La ventaja de un convertidor de bajo ruido es que el convertidor reductor va montado en la antena misma junto al LNA, pero la estabilidad de su oscilador local puede ser alterada por temperaturas extremas del medio; como los requisitos de estabilidad son menores para la recepción de televisión modulada en FM que, por ejemplo canales de voz y datos, los LNC y los LNB son utilizados principalmente para la recepción de televisión analógica. De estos el LNC tiene la desventaja de que solo puede alimentar a un receptor aunque es sencillo y económico, mientras que el LNB puede alimentar simultáneamente a varios receptores con señales distintas. Su uso también es común en equipos de recepción directa de TV digital, donde el alimentador y el LNB forman una sola unidad sellada denominada LNF o “alimentador de bajo ruido”.

En la mayor parte de las estaciones terrenas receptoras de servicio fijo, el convertidor reductor se instala a unos 10 mts de distancia como máximo del amplificador de bajo ruido con el fin de minimizar las pérdidas de los cables.

Pero cuando observamos que la señal de frecuencia intermedia sale del convertidor reductor se puede notar que aún se encuentra modulada (FM, PSK) y el paso siguiente para recuperarla en su forma original (banda base) es precisamente demodularla. En realidad la señal nunca es recuperada exactamente como era en su forma original, ya que diversos factores (como el ruido térmico y de intermodulación) se encargan de distorsionarla, además del ruido de cuantización y la interferencia entre símbolos en los sistemas digitales.

El grado de distorsión que se produce depende del tipo de modulación que se haya elegido, del nivel de la potencia transmitida, de la ganancia de las antenas y de otros parámetros del diseño del enlace.

De cualquier forma, si el enlace ha sido bien diseñado, el oído o el ojo humano no perciben tal distorsión en una señal de audio o de video y la toman como aceptable.

Para esto se han establecido normas y recomendaciones internacionales, las cuales fueron acordadas después de haber hecho muchas pruebas subjetivas con una gran gama de individuos a fin de saber cuando ruido era permisible en presencia de cada tipo señal sin que resultase incómodo para el usuario; es decir, se comprobó que si el cociente de la potencia de la señal deseada dividida entre la potencia del ruido presente era mayor que cierto valor o estándar, entonces el sistema funcionaba bien. A este cociente se le llama relación señal a ruido y se representa como  $S/N$ , que es la medida de la calidad de la señal recibida y es especificada precisamente a la salida del demodulador.

Para cada clase de señal hay un estándar o  $S/N$  distinto. Por ejemplo, para una señal telefónica el estándar es de 50 dB, o sea que la mayor parte del tiempo la potencia de la señal que sale del demodulador y que contiene la información de la voz debe ser 100,000 veces mayor que la potencia del ruido que se le añade ( $S/N = 10 \log[100,000/1] = 50 \text{ dB}$ ). Por lo general, la relación  $S/N$  debe ser aun mayor en el caso de señales de televisión, así que, se procura diseñar los enlaces de tal forma que el valor de la relación  $S/N$  este fijado entre 53 dB o más durante la mayor parte del tiempo (99%), debido a que se trata de un servicio de distribución en una ciudad.

La relación señal a ruido es la medida de calidad para enlaces analógicos ya que en las transmisiones digitales se emplea la probabilidad de error.

La señal digital sea cual sea su naturaleza (voz, imagen o datos) esta compuesta por unos y ceros, y al pasar por los diferentes procesos del enlace, a la señal se le añade ruido inevitablemente ocasionando que algunos ceros y uno sean mal interpretados en el receptor. Cuantos más errores cometa el aparato por efecto de la superposición del ruido, más difícil es reconstruir la señal en su forma original, y en consecuencia la calidad del servicio se degrada.

La proporción de bits que sean mal interpretados erróneamente por el demodulador digital, en relación con la secuencia correcta que tenía la señal original, es la medida de la calidad del enlace y se conoce como probabilidad de error.

Por ejemplo si cada 10000 bits de información demodulada uno de ellos esta mal detectado la probabilidad de error es de  $1/10000$  o mas propiamente  $10^{-4}$ .



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

Para diferenciar los cocientes de la potencia de la señal entre el ruido, tanto a la entrada como a la salida del demodulador, se utiliza la notación  $C/N$  a la entrada y  $S/N$  a la salida. C es la potencia de la señal todavía en forma modulada y N es la potencia del ruido distribuido en todo el ancho de banda de la señal modulada. El cociente  $C/N$  se denomina relación portadora a ruido.

El modem en su parte demoduladora posee como característica relevante el parámetro  $E_b/N_0$  o relación de energía de Bit a Densidad Espectral de Ruido.

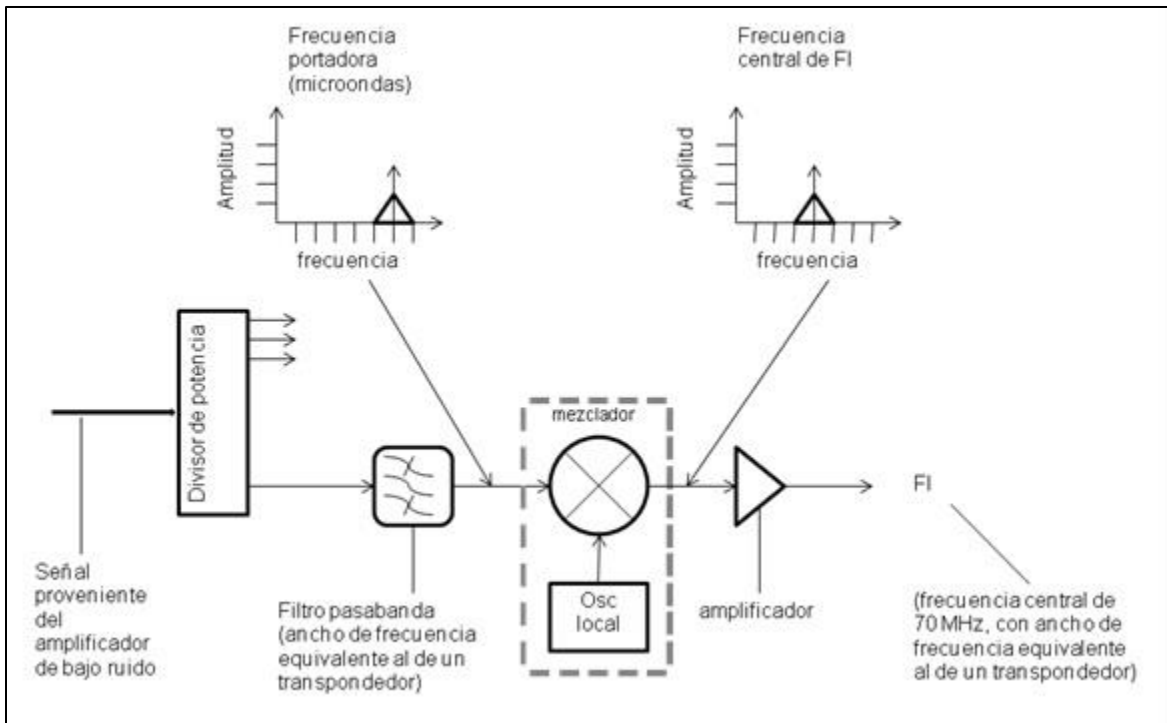


Figura 2.9 Diagrama del proceso que lleva la señal a la recepción.



## CAPITULO 3

### CÁLCULO DEL ENLACE

#### 3.1 CÁLCULO DEL ENLACE

A continuación en la parte central de esta investigación les describiremos el cálculo del enlace, que es la parte más importante de este trabajo ya que de estos parten todas las consideraciones y parámetros que constituyen a la estación terrena móvil. El cálculo del enlace vía satélite involucra el conocimiento de los equipos principales de la estación terrena (E/T) y del satélite, utilizados en el procesamiento de la información, de ahí que se realice la revisión breve de estos conceptos, previa al estudio de los cálculos del enlace.

El cálculo del enlace es un procedimiento matemático que nos permite evaluar la cantidad de la señal que existe en un canal de comunicación vía satélite considerando los niveles de potencia en todo el sistema.

En el cálculo del enlace para el sistema móvil no tenemos variantes para poder diseñar la red ya que solo contamos con la relación de calidad de las antenas móviles, ya que existe una infraestructura conocida en lo que se refiere a la estación terrena fija que es en la parte de Banda Ku, la cual nunca va a cambiar, también se tienen las características de PIREA, G/T y DFS, las cuales ya están determinadas por el diseño del satélite, por lo cual solo nos queda el sistema móvil, en el cual solo podemos variar la calidad de la antena móvil, en lo que se refiere a su relación de ganancia a temperatura de ruido. En todo sistema de comunicación la presencia de ruido es algo inevitable que genera una degradación de la señal útil. La **relación portadora a ruido (C/N)**, se refiere a la diferencia existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido existente en el sistema, la utilizaremos como el indicador de la calidad de comunicación en el sistema de microondas vía satélite.

La metodología de cálculo que emplearemos se basa en dividir al cálculo del enlace satelital en tres partes principales:

- a) Enlace ascendente
- b) Enlace descendente
- c) Evaluación del enlace

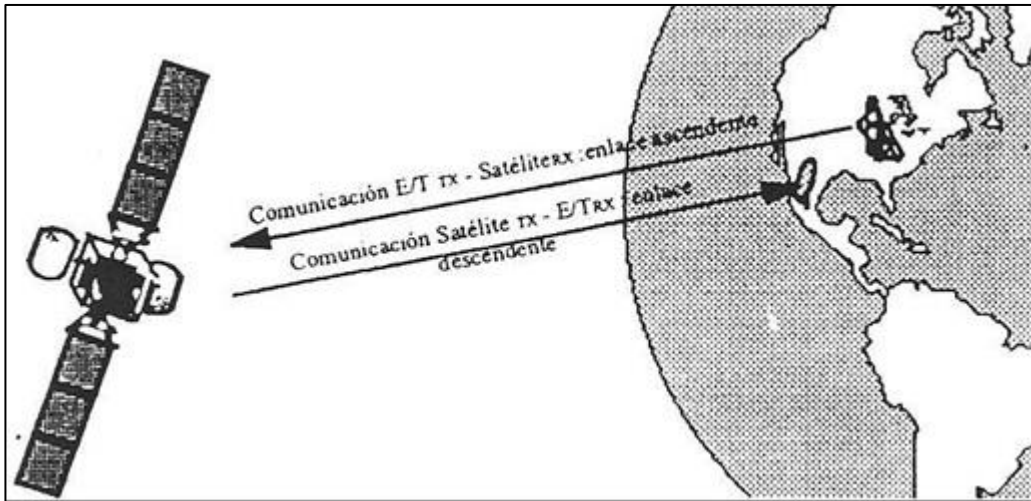


Figura 3.1 Diagrama general del enlace satelital.

Cada una de las partes anteriores conjuntan a una serie de conceptos físicos y procedimientos matemáticos con cierta independencia que nos permiten manejarlos por separado; en las dos primeras partes se trata de obtener las relaciones (C/N) totales ascendente y descendente, en tanto que en la última parte se determina el margen del enlace.

El **margen del enlace** es el parámetro que nos indica la calidad total del enlace, que considera el nivel de potencia en el equipo receptor de acuerdo a una calidad esperada en la información recibida y la calidad de la información proporcionada por el enlace, en función de la potencia total de la portadora.

Cuando se diseña un enlace debe tomarse algún criterio de diseño que fije las condiciones para que el enlace opere satisfactoriamente, de ahí que una vez establecidos dichos criterios se considera si el margen del enlace es bueno o no; en caso de que ser satisfactorio, se da por concluido el cálculo y se procede a la recuperación de los valores correspondientes a los parámetros más relevantes como son la PIRE de la E/T y la PIRE del satélite por portadora, esto es, las potencias controlables de nuestro enlace. Para el caso en que el margen del enlace no sea el adecuado se realiza nuevamente el cálculo bajo diferentes condiciones de potencia, para lo cual debemos cambiar el valor de la potencia con la que transmite la E/T, así hasta obtener los resultados deseados.

### 3.1.1 PARAMETROS PARA EL CALCULO DE UN ENLACE SATELITAL, PARA UNA SEÑAL DE AUDIO Y VIDEO DIGITALES BANDA Ku, SATELITE SATMEX 6

#### DATOS DEL SATELITE

SATELITE:	SATMEX 6
LONGITUD:	113° OESTE
BANDA DE OPERACIÓN:	Ku/C
TIPO DE TRANSPONDEDOR:	Ku (36 MHz)

#### BANDA Ku

FRECUENCIA DE MEDIA BANDA ASCENDENTE	14.25 GHz
FRECUENCIA DE MEDIA BANDA DESCENDENTE	11.95GHz
MIBO:	7.5 dB
MOBO:	5.1 dB
ATP:	14 dB

#### DATOS DE LA SEÑAL A TRANSMITIR

SERVICIO:	VOZ Y VIDEO
VELOCIDAD DE LA INFORMACION:	4823.15 kbps
MODULACION:	QPSK
ROLL OFF:	40 %
FEC:	3/4
BER:	$10E^{-3}$
Eb/No Min. Req.:	9.0

**DATOS DE LAS E/T TRANSMISORA Y RECEPTORA**

LOCALIDAD:	TULA	PACHUCA	
LATITUD:	20.1	20.12	°N
LONGITUD:	99.32	98.73	°O
DIAMETRO DE LA ANTENA:	4.5	Plato (1.2 m $\Phi$ )	m
GANANCIA ANTENA Tx:	43.3	30	dBi
GANANCIA ANTENA Rx:	41.2	20	dBi
Eb/No DEL MODEM RECEPTOR:	9.981	9.81	dB

**PARAMETROS DEL SATELITE PARA LAS LOCALIDADES DE INTERES**

LOCALIDAD:	TULA	PACHUCA
DFS:	-100.80	-----dBW/m <sup>2</sup>
PIREA:	-----	46 dBW
G/T:	19.2	----- dB/K
$PIRE_{(SAT)}$	48.2 dBw	-0.9 dBK

### 3.2 CALCULOS PRELIMINARES

Los cálculos preliminares son aquellos que nos generarán una serie de datos necesarios para el cálculo del enlace propiamente dicho, de acuerdo a esta metodología se calcula el ancho de banda, los ángulos de apuntamiento de azimut y elevación que presentarán las antenas y la distancia entre la estación terrena móvil y el satélite.

El ancho de banda aquí calculado, es el que la señal de comunicación necesita para transmitirse y se relaciona con la cantidad de ruido total que afectará en las relaciones C/N que definen la calidad del enlace. El dato de la distancia nos servirá para evaluar las pérdidas de potencia debidas a la dispersión de la energía en la trayectoria de propagación; para obtener este parámetro, necesitamos conocer el ángulo de elevación por lo que éste se evalúa. En lo que respecta al ángulo de azimut, se calcula como complemento al ángulo de elevación para tener completa la referencia y estar en condiciones de apuntar una antena hacia el satélite, aunque restaría hacer la consideración debido a la declinación magnética.

### ANCHO DE BANDA

$$AB = V_{inf} (FEC)^{-1} (FM) (1 + \text{ROLL OFF}) \text{ (Hz)}$$

$V_{inf}$  = Velocidad de la información

$FEC$  = Factor debido al código de corrección de errores por adelantado (no se emplea en este caso)

$FM$  = Factor de modulación, su valor depende de la modulación empleada.

Si la modulación es BPSK  $FM = 1.0$

Si la modulación es QPSK  $FM = 0.5$

ROLL OFF = Factor de ensanchamiento del espectro (característica de los modem)

Sustituyendo:

### ANCHO DE BANDA OCUPADO

$$AB_{ocu} = (4823.15) (3/4)^{-1} (0.5) (1.40)$$

$$AB_{ocu} = 4.5 \text{ MHz}$$

### ANCHO DE BANDA ASIGNADO

$$AB_{ASIGN} = AB_{ocu} \times F \text{ asign}$$

$$AB_{ASIGN} = 4.5 \times 1.0$$

$$AB_{ASIGN} = 4.5 \text{ MHz}$$

El ancho de banda ocupado es el espacio en frecuencia que utilizaremos para el cálculo del enlace. El ancho de banda asignado es un concepto que utilizamos en la asignación de las frecuencias operativas de los enlaces. En este caso en particular consideramos 1.0 como factor, ya que el roll-off que se está considerando es muy alto por lo tanto está compensado dicho factor.

## APUNTAMIENTO DE ANTENA Y DISTANCIA E/T MOVIL TULA - SATELITE

ANGULO DE AZIMUT PARA E/T MOVIL TULA:

$$A' = \text{Tan}^{-1} (\text{Tan} [\text{ABS} (\text{LONG}_{\text{SAT}} - \text{LONG}_{\text{E/T}})] / \text{SenLAT}_{\text{E/T}})$$

Donde:

$\text{LONG}_{\text{SAT}}$  = Longitud del satélite

$\text{LONG}_{\text{E/T}}$  = Longitud de la E/T

$\text{LAT}_{\text{E/T}}$  = Latitud de la E/T

$\text{ABS}$  = Valor absoluto

Si la E/T se ubica en el Hemisferio Norte y la:

$$\text{E/T al oeste del satélite: } A = 180 - A'$$

$$\text{E/T al este del satélite: } A = 180 + A'$$

Si la E/T se ubica en el Hemisferio Sur y la:

$$\text{E/T al oeste del satélite: } A = A'$$

$$\text{E/T al este del satélite: } A = 360 - A'$$

Sustituyendo para TULA:

$$A' = \text{Tan}^{-1} (\text{Tan}[\text{ABS} (113 - 99.32)] / \text{Sen } 20.10)$$

$$A' = \text{Tan}^{-1} (0.243403945/0.343659694)$$

$$A' = \text{Tan}^{-1} (0.708270272)$$

$$A' = 35.30880$$

Como la E/T se encuentra en el hemisferio norte y al este del satélite

$$A = 180 + 35.30880$$

$$\underline{A = 215.3088^\circ}$$

**ANGULO DE ELEVACION PARA E/T MOVIL TULA:**

$$E = \text{Tan}^{-1} [(R - \text{Re} (w) / (\text{Re} \text{ Sen} (\text{Cos}^{-1} w))] - \text{Cos}^{-1} w$$

Donde: R = Distancia promedio del centro de la Tierra a la órbita  
 Geoestacionaria (42164.2 Km)  
 Re = Radio promedio de la Tierra (6378.155 Km)  
 w =  $\text{Cos } LAT_{E/T} (\text{Cos } [LONG_{SAT} - LONG_{E/T}])$

Sustituyendo:

$$w = \text{Cos } 20.10 (\text{Cos } [113 - 99.32])$$

$$w = 0.912453775$$

$$E = \text{Tan}^{-1} [(42164.2 - 6378.155 (0.912453775)) / (6378.155 (\text{Sen} (\text{Cos}^{-1} 0.912453775)))] - \text{Cos}^{-1} 0.912453775$$

$$E = \text{Tan}^{-1} [(42164.2 - 5819.771607) / (6378.155 (0.409179799))] - 24.1533215$$

$$E = \text{Tan}^{-1} [(36344.42839) / (2609.812181)] - 24.1533215$$

$$E = \underline{61.73944^\circ}$$

**DISTANCIA ENTRE E/T MOVIL TULA – SATMEX 6**

$$D = \{ R^2 + \text{Re}^2 - (2 \text{Re} (R) \text{ Sen} (E + \text{Sen}^{-1} ((\text{Re} / R) \text{ Cos } E)))\}^{1/2}$$

Donde R = Distancia promedio del centro de la Tierra al satélite  
 (42164.2 Km)  
 Re = Radio promedio de la Tierra (6378.155 Km)  
 E = Angulo de elevación

Sustituyendo:

$$D = \{ 42\ 164.2^2 + 6\ 378.155^2 - (2 (6378.155 (42\ 164.2)) \text{ Sen} (61.73944) + \text{Sen}^{-1} ((6\ 378.155 / 42164.2) \text{ Cos } 61.73944))\}^{1/2}$$

$$D = \underline{36\ 438.4071\text{Km}}$$



**ANGULO DE AZIMUT PARA LA E/T FIJA PACHUCA**

$$A' = \tan^{-1} (\tan[ABS (113 - 98.73)] / \text{Sen } 20.12)$$

$$A' = 36.48$$

Como la E/T se encuentra en el hemisferio norte y al este del satélite

$$A = 180 + 36.48$$

$$\underline{A = 216.48^\circ}$$

**ANGULO DE ELEVACION PARA LA E/T FIJA PACHUCA**

$$w = \text{Cos } 20.12 \text{ Cos } [113 - 98.73]$$

$$w = 0.91$$

$$E = \tan^{-1} [(42164.2 - 6378.155 (0.91)) / (6378.155 (\text{Sen } (\text{Cos}^{-1} 0.91)))] \\ - \text{Cos}^{-1} 0.91$$

$$\underline{E = 61.3456^\circ}$$

**DISTANCIA ENTRE E/T FIJA PACHUCA Y SATMEX 6**

$$D = \{ 42\ 164.2^2 + 6\ 378.155^2 - (2 (6\ 378.155 (42\ 164.2)) \text{Sen } (61.3454) \\ + \text{Sen}^{-1} ((6\ 378.155 / 42164.2) \text{Cos} 61.3454))\}^{1/2}$$

$$\underline{D = 36\ 456.2419 \text{ Km}}$$

### 3.3 ENLACE ASCENDENTE

En la parte ascendente se evalúa la relación  $C/N_{ASCTOT}$ , que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre la E/T transmisora y el satélite como receptor, tomando en cuenta a las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace.

Primeramente se evalúa la relación  $C/N_{ASC}$ , es decir, la relación de potencia de la portadora respecto del ruido propio del equipo receptor del satélite, en el que interviene la potencia de transmisión de la estación terrena conocida como PIRE, las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la pérdida por apuntamiento, la diferencia en alineación de las polaridades del satélite y E/T, la atenuación que produce la lluvia y las características de ruido y ganancia del satélite.

Posteriormente tiene que evaluarse las diferentes relaciones de interferencia que afectan al enlace ascendente como son las siguientes:

**C/I: intermodulación:** Razón de potencia de portadora respecto de la potencia de ruido de intermodulación en el HPA de la E/T transmisora. Es un proceso interno del propio amplificador y se produce cuando varias portadoras se encuentran en el mismo amplificador. Su cálculo esta basado en procesos puramente estadísticos ya que se pueden producir aleatoriamente, este valor difiere del enlace ascendente debido a que en el amplificador del satélite existen más portadoras que en un amplificador de tierra por lo que la intermodulación tiende a incrementarse.

**C/X: Polarización cruzada:** Razón de potencia de portadora respecto de las señales en la polaridad contraria que van hacia el mismo satélite. El que una frecuencia sea utilizada dos veces pero con diferente polarización puede ocasionar que en realidad las dos polarizaciones sean perfectamente ortogonales, o cual origina una pequeña suma vectorial de dos portadoras.

**$C/X_{satady}$ : Polarización por satélite adyacente:** Razón de potencia de portadora respecto de señales que van dirigidas hacia los satélites colindantes. Se debe tomar en cuenta que existen 4 satélites cercanos al sistema mexicano de satélites por lo que existe la posibilidad de que haya una señal X que puede interferir a nuestra señal Y. La magnitud Y con respecto de X puede ser un tanto aleatoria, ya que se supone que debe de hacer un mutuo acuerdo entre administraciones satélites para evitar interferencias.

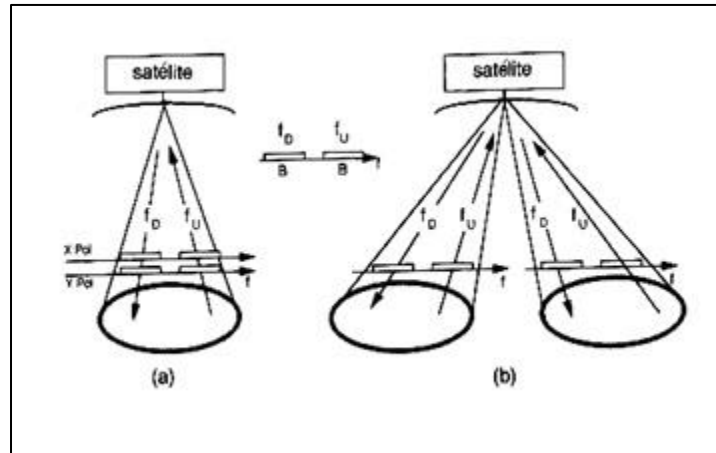


Figura 3.2 Diagrama que nos muestra la interferencia adyacente entre las señales.

Los valores que adopta cada una de las relaciones de interferencia anteriores, varían en función de la densidad de potencia que tiene nuestra portadora de comunicación, respecto del número de portadoras procesadas con ella en el mismo amplificador de la E/T donde se transmite ( $C/I$ ), de si existe o no el rehúso de frecuencias en el satélite, ( $C/X pol$ ) y del tipo de tráfico que comparte la misma banda de frecuencia y polaridad en los satélites colindantes, aunado con el patrón de radiación de las antenas que funcionan con esos sistemas ( $C/X satady$ ).

La relación  $C/N_{ASCTOT}$  considera todos los aspectos mencionados, cabe aclarar que si es mayor el valor de la potencia de la portadora, respecto del ruido de intermodulación, interferencia por modulación cruzada e interferencia por satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

## RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO ASCENDENTE

$$(C/N_o)_{ASC} = PIRE_{E/T} + (G/T)_{SAT} - K - L_{S_{ASC}} - \mu_{ASC} - L\Delta_{ASC}$$

DONDE:  $PIRE_{E/T}$  = Potencia isotrópica radiada efectiva desde la E/T

$(G/T)_{SAT}$  = Característica del satélite

$K$  = Constante de Boltzman = -228.6 (dBJ/°K)

$L_{S_{ASC}}$  = Pérdidas en el espacio libre ascendentes

$\mu_{ASC}$  = Margen de atenuación por lluvia ascendente

$L\Delta_{ASC}$  = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización su valor aproximado es de 1 dB.

Sustituyendo:

$\mu_{ASC} = 2.0$  dB, Para la disponibilidad de 99.50 en la banda Ku

## SE PROPONE EL VALOR DE 40.5 dBW PARA LA PIRE DE E/T

En esta metodología se propone el valor de la PIRE de  $E/T_{Tx}$ , como punto de partida del cálculo. Esta PIRE en términos reales será proporcionada por la combinación de potencia utilizada en el HPA y la ganancia de la antena en transmisión.

## PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE ASCENDENTES

$$L_{S_{ASC}} = 20 \log((4\pi * F * D) / C)$$

Siendo:  $F$  = Frecuencia ascendente (Hz)

$D$  = Distancia entre E/T y satélite (m)

$C$  = velocidad de la luz ( $3^8$  m/s)

Sustituyendo:

$$L_{S_{ASC}} = 20 \log((4\pi(14.25)^9(36318.15)^3 / 3^8)$$

$$L_{S_{ASC}} = 206.74 \text{ dB}$$

$$(C/No)_{ASC} = 40.5 + 3.6 - (-228.6) - 206.72 - 2.0 - 1.0 \text{ (dB-Hz)}$$

$$(C/No)_{ASC} = 62.46 \text{ dB-Hz}$$

### RELACION PORTADORA A RUIDO ASCENDENTE

$$(C/N)_{ASC} = (C/No)_{ASC} - 10 \log(AB)$$

Sustituyendo:

$$(C/N)_{ASC} = 62.46 - 10 \log(4.5 \times 10^3)$$

$$(C/N)_{ASC} = 25.93 \text{ dB}$$

### RELACION PORTADORA A RUIDO ASCENDENTE TOTAL

$$(C/N)_{ASCTOTAL} = 10 \log \frac{1}{\left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{N_{ASC}}{10}} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{I}{10}} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{X_{POL}}{10}} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{X_{SATADY}}{10}} \right)} \right)}$$

Donde:

$$C/I \text{ Intermodulación ascendente} = C/I = -\text{HPA INT} - \text{IPBOi} - 10 \log (AB)$$

$$C/X \text{ polarización cruzada ascendente} = C/X \text{ pol} = -\text{INT}_{ASCCPOL} - \text{IPBOi} - 10 \log (AB)$$

$$C/X \text{ Satélite adyacente ascendente} = C/X \text{ satady} = -\text{INT}_{satady} - \text{IPBOi} - 10 \log (AB)$$

Donde: IPBOi de portadora

$$\text{IPBOi} = \text{DFS} - \text{PIRE}_{E/T} + L_{p_{ASC}} + \text{ATP} + L_{ATM} + \mu_{ASC}$$

Sustituyendo:

### IPBOi DE PORTADORA

$$IPBOi = DFS - PIRE_{E/T} + Lp_{ASC} + ATP + L_{ATM} + \mu_{ASC}$$

Donde:  $Lp_{ASC} = 10 \log(4 * \pi * D^2)$

$$Lp_{ASC} = 10 \log((4\pi)(36438.40^3)^2)$$

$$Lp_{ASC} = 162.22 \text{ dB}$$

$$IPBOi = -100.80 - 40 + 162.22 + 14 + 0.5 + 2.0$$

$$IPBOi = 37.92 \text{ dB}$$

### C/I INTERMODULACIÓN ASCENDENTE

$$C/I \text{ Intermodulación} = -(-106.0) - 37.92 - 36.53$$

$$C/I = 31.55 \text{ dB}$$

### C/X POLARIZACIÓN CRUZADA ASCENDENTE

$$C/X \text{ polarización cruzada} = -(-112.6) - 37.92 - 36.53$$

$$C/X \text{ pol} = 38.15 \text{ dB}$$

### C/X SATÉLITE ADYACENTE ASCENDENTE

$$C/X \text{ Satélite adyacente} = -(-110.0) - 37.92 - 36.53$$

$$C/X \text{ Satady} = 35.55 \text{ dB}$$

$$(C/N)_{ASCTOTAL}$$

$$= 10 \log \frac{1}{\left( \frac{1}{a \log \left( \frac{25.93}{10} \right)} \right) + \left( \frac{1}{a \log \left( \frac{31.55}{10} \right)} \right) + \left( \frac{1}{a \log \left( \frac{38.55}{10} \right)} \right) + \left( \frac{1}{a \log \left( \frac{35.55}{10} \right)} \right)}$$

$$(C/N)_{ASCTOTAL} = 24.34 \text{ dB}$$

### 3.4 ENLACE DESCENDENTE

En la parte descendente se evalúa la relación  $C/N_{DESCTOTAL}$ , que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre el satélite y la estación móvil, que toma en cuenta a las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace al descenso.

Primeramente se evalúa la relación  $C/N_{DESC}$ , es decir, la relación de potencia de la portadora respecto del ruido propio del equipo receptor de la estación móvil, en el que interviene la potencia de transmisión del satélite conocida como PIRE de satélite por portadora, las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la pérdida por apuntamiento, perdidas debido a la desviación de la trayectoria causadas por árboles, edificios, etc.(todo aquello que cruce en su trayectoria), la atenuación que produce la lluvia y las características de ruido y ganancia de la estación móvil.

En el caso de las interferencias causadas al descenso en la banda L, adoptaremos valores constantes ya que en este caso particular las interferencias son muy pequeñas por lo que a continuación consideramos los siguientes valores:

$C/I$  Intermodulación descendente =  $C/I = 30$  dB/Hz

$C/X$  polarización cruzada descendente =  $C/X_{pol} = 30$  dB/Hz

$C/X$  Satélite adyacente descendente =  $C/X_{satady} = 35$  dB/Hz

La relación  $C/N_{DESCTOTAL}$  considera todos los aspectos antes mencionados, cabe aclarar que en tanto mayor sea el valor de la potencia de la portadora, respecto del ruido de intermodulación, interferencia por modulación cruzada e interferencia por satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

## RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO DESCENDENTE

$$(C/N_0)_{DESC} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{E/T} - K - L_{S_{DESC}} - L_{sh} - \mu_{DESC} - L\Delta_{DESC}$$

DONDE:  $PIRE_{SAT}$  = PIRE de satélite por portadora

$(G/T)_{E/T}$  = Característica de la estación terrena receptora

$K$  = Constante de Boltzman = -228.6 (dB/J/°K)

$L_{S_{DESC}}$  = Pérdidas en el espacio libre descendentes

$L_{sh}$  = Pérdidas causadas por todo aquello que se cruza en la trayectoria del enlace del satélite a la estación móvil (en este caso en particular consideramos 1.0 dB)

$\mu_{ASC}$  = Margen de atenuación por lluvia descendente

$L\Delta_{ASC}$  = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y despolarización su valor aproximado es de 1 dB.

Sustituyendo:

$\mu_{DESC} = 0.0$  dB, en la banda L.

## CALCULO DE LA PIRE DEL SATÉLITE

$$PIRE_{SAT} = -DFS_{Tx} - ATP + MIBO - Lp_{desc} + PIRE_{E/T} - MOBO + PIRE_{SATU(Rx)}$$

Donde:  $DFS_{Tx}$  = Densidad de flujo de saturación hacia la localidad Tx

$PIRE_{SATU(Rx)}$  = PIRE de saturación hacia la localidad Rx

$Lp_{desc} = 10 \log((4\pi)(36456.24^3)^2)$

$Lp_{desc} = 162.2275$  dB

Sustituyendo:

$$PIRE_{SAT} = -(-100.80) - 14 + 7.5 - 162.23 + 40 - 5.1 + 46$$

$$PIRE_{SAT} = \underline{12.97 \text{ dBW}}$$



## PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE DESCENDENTES

$$L_{S_{DESC}} = 20 \log((4\pi (11.95^9)(36456.24^3)) / 3^8)$$

$$L_{S_{ASC}} = \underline{205.22 \text{ dB}}$$

## FIGURA DE MERITO DE LA ESTACION MOVIL

Este valor ya esta dada por los fabricantes de las antenas móviles, y los valores más comunes se muestran en la tabla 1.

Para este caso en particular consideramos una G/T de -4 dB/K, dicho valor se considera para antenas de alta ganancia.

Sustituyendo valores:

$$(C/No)_{DESC} = 12.97 + 19.2 - (-228.6) - 205.22 - 1.0 - 1.0$$

$$(C/No)_{DESC} = \underline{53.55 \text{ dB-Hz}}$$

## RELACION PORTADORA A RUIDO DESCENDENTE

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DESC} - 10 \log(AB)$$

Sustituyendo:

$$(C/N)_{DESC} = (53.55) - 10 \log(5.4^3)$$

$$(C/N)_{DESC} = \underline{16.22 \text{ dB}}$$

**RELACION PORTADORA A RUIDO DESCENDENTE TOTAL**

$$(C/N)_{DESCTOTAL} = 10 \log \frac{1}{\left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{N_{DESC}}{10}} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{I}{10}} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{X_{POL}}{10}} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{C}{\frac{X_{SATADY}}{10}} \right)} \right)}$$

Donde:

**OPBOi DE PORTADORA**

$$OPBOi = MOBO - MIBO + IPBOi$$

Sustituyendo:

$$OPBOi = 5.1 - 7.5 + 37.92$$

$$OPBOi = \underline{35.52 \text{ dB}}$$

Sustituyendo:

$$(C/N)_{DESCTOTAL} = 10 \log \frac{1}{\left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{16.22}{10} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{30.0}{10} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{30.0}{10} \right)} \right) + \left( \frac{1}{\text{alog} \left( \frac{35.0}{10} \right)} \right)}$$

$$(C/N)_{DESCTOTAL} = 15.83 \text{ dB}$$

### 3.5 EVALUACION DEL ENLACE

En este punto se calcula la relación  $C/N_{TOTAL}$ , es decir la resultante de la combinación entre el enlace ascendente total y el enlace descendente total. Además calcularemos a la relación  $C/N_{REQUERIDA}$  ( $C/N_{REQ}$ ) que depende de las características del modem y de la señal de comunicaciones. Al comparar a la  $C/N_{TOTAL}$  con la  $C/N_{REQUERIDA}$ , obtenemos el valor del Margen del enlace que nos indicará finalmente si nuestro enlace cumple o no con la calidad deseada en el diseño del enlace.

#### RELACION PORTADORA A RUIDO TOTAL

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \log \frac{1}{\left( \frac{1}{a \log \left( \frac{C}{\frac{N_{ASCTOTAL}}{10}} \right)} \right) + \left( \frac{1}{a \log \left( \frac{C}{\frac{N_{DESCTOTAL}}{10}} \right)} \right)}$$

Sustituyendo:

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \log \frac{1}{\left( \frac{1}{a \log \left( \frac{24.34}{10} \right)} \right) + \left( \frac{1}{a \log \left( \frac{15.83}{10} \right)} \right)}$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 15.26 \text{ dB}$$

#### RELACION PORTADORA A RUIDO REQUERIDO

$$C/N_{REQ} = Eb/No + 10 \log(\text{vel inf}) - 10 \log(AB)$$

Sustituyendo:

$$C/N_{REQ} = 9.50 + 10 \log(5.625^3) - 10 \log(4.5^3)$$

$$C/N_{REQ} = 10.47 \text{ dB}$$

## MARGEN DEL ENLACE

**Margen del enlace:** Para que un enlace satelital se pueda realizar, la relación  $C/N_{total}$  debe ser mayor o igual que la relación  $C/N_{REQ}$

$$ME = C/N_{TOTAL} - C/N_{REQ}$$

Sustituyendo:

$$ME = 15.26 - 10.47$$

$$ME = 4.79 \text{ dB}$$

El margen del enlace debe ser mayor o cuando menos igual cero. En caso de que el margen sea negativo, quiere decir que nuestro enlace no corresponderá a la tasa de bits erróneos planteada como condición inicial de diseño. Si el margen es inferior al esperado, incrementaremos la PIRE de E/T propuesta inicialmente y recalcularemos nuevamente, hasta lograr el margen del enlace que nosotros hayamos fijado como condición del diseño del enlace.

## PORCENTAJE DE POTENCIA CONSUMIDA POR LA PORTADORA EN EL SATÉLITE

Es la cantidad de potencia que tiene una portadora con respecto a la potencia total del satélite, este parámetro facilita la administración del segmento espacial, y en su momento sirve para definir la facturación.

$$\% \text{ POT} = \left[ A \log \left\{ \frac{(PIRE_{SAT} - PIRE_{SATU} + MOBO)}{10} \right\} \right] * 100$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ POT} = \left[ A \log \left\{ \frac{(12.97 - 46 + 5.1)}{10} \right\} \right] * 100$$

$$\% \text{ POT} = 0.161 \%$$

## CALCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA EN EL HPA

Potencia calculada a la salida del amplificador en la estación terrena antes de ser reflejada por el plato parabólico.

$$POT_{HPA} = PIRE_{E/T} - G_{Tx} + L_{HPA Y ANT}$$

$L_{hpa y ANT}$ : Es la sumatoria de las pérdidas inherentes al amplificador y antena.

Sustituyendo los valores:

$$POT_{HPA} = 40.50 - 58.30$$

$$POT_{HPA} = -17.80 \text{ dBW}$$

Y en Watts:

$$POT_{HPA} = \text{ALOG} (-17.80 \text{ dBW}/10)$$

$$POT_{HPA} = 0.0166 \text{ W}$$

Nota: No es recomendable que el valor del HPA quede justo en relación al valor calculado.

## **CAPITULO 4**

### **PROPUESTA DE EQUIPO**

#### **4.1 RADIO Y TELEVISION DE HIDALGO**

Es una institución gubernamental que tiene como finalidad fomentar el desarrollo integral de la comunidad hidalguense y la preservación de sus tradiciones y su cultura.

Entendemos por formación integral la responsabilidad de educar a la población en algunos ámbitos fundamentales como los son:

- La solidaridad
- La democracia
- El desarrollo y la prosperidad económica
- La convivencia social
- La justicia
- La honestidad

El contenido de la programación es el fruto de años de esfuerzo y experiencia acumulados en los medios audiovisuales.

Radio y Televisión de Hidalgo se caracteriza por tener espacios atractivos, creativos e incluyentes que permite llegar a todo tipo de público y sectores, que van desde los infantes hasta una audiencia madura.

Con la suma de los esfuerzos constantes de todos los que integran la misma se seguirá teniendo propuesta de hacer una televisión competitiva, propositiva, pero sobre todo de calidad que brinde a nuestra comunidad una alternativa inteligente y entretenida.

## 4.2 PROPUESTA DE EQUIPO

Como parte complementaria a los cálculos previamente realizados y explicados, es necesario conocer los equipos que conformaran físicamente la estación terrena móvil, en este capítulo mostramos el equipo recomendado, su funcionamiento y una pequeña descripción del mismo.

Es importante recalcar que estos equipos son provenientes de marcas existentes, y contienen especificaciones reales lo cual hace a la investigación más apegada a la actualidad.

Al final de este capítulo podemos encontrar las especificaciones técnicas y eléctricas de cada uno de los equipos, las cuales podemos aplicar a la hora de realizar un proyecto similar siempre tomando en cuenta los parámetros que ya hemos estudiado en este documento.

La estación terrena transmisora móvil será utilizada principalmente para la transmisión de señales de video y audio, y esta constituida por una Antena marca Advent, con un Amplificador de potencia marca Xicom Technology modelo XTD – 200K, generado por un tubo “TWT” de 180 Watts de potencia de transmisión, un Convertidor Ascendente marca Advent communications modelo AUC3840 de banda “L” a banda “Ku” y un procesador de Video y Audio (Encoder/Modulador) marca Advent communications, modelo DVE5000

La Estación Móvil Newswift opera en la banda “Ku” utilizando la técnica DVBQPSK de acceso al satélite.

Las señales de video y audio que se transmiten por la estación móvil en la banda “Ku” emplean una topología de punto a multipunto.



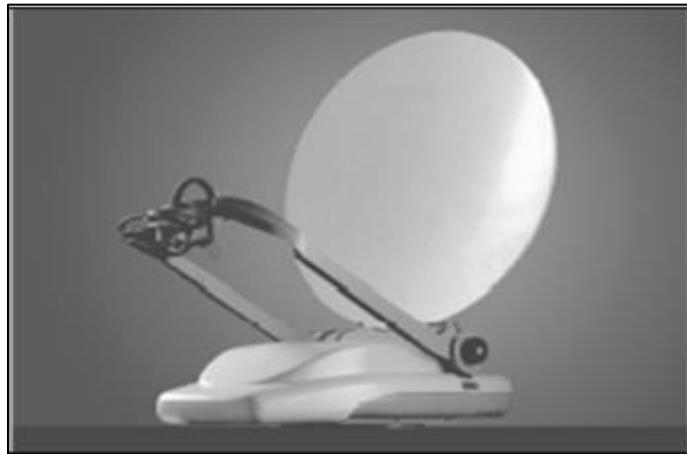


### 4.3 ANTENA

La antena Advent, communications modelo Newswift de 1.2 metros utiliza polarización lineal y opera en la banda “Ku”.

Es una antena altamente compacta integrada a la unidad satelital y diseñada para un rápido despliegue. Su característica principal es su forma offset y esta construida con fibra de carbón. Su diseño único permite también poder integrar en el mismo ensamble de la antena un paquete combinado redundant/phase de RF.

La antena cumple con las normas de la FCC 25209, la IESS de INTELSAT, la recomendación de la UIT-RS 580 relativa a los lóbulos laterales y la norma mexicana NOM-EM-113-SCT-1994.



**Figura 4.2** Antena off-set Newswift con polarización lineal.

#### **4.4 Controlador de Antena por medio de GPS y Fluxgate compass modelo ACU4204.**

El ACU4204 es una unidad de control diseñada para la operación de una antena y comunicarse con el DCU (Drive Control Unit) montado sobre la antena desde 2 conectores tipo-D interconectados al panel trasero del ACU.

El ACU4204 tiene un software incluido dentro de la unidad, el cual permite calcular la posición de un satélite, desde la localización del sistema que se está orientando. La localización y la orientación puede ser ingresada de manera manual o automática desde un GPS y una interfaz que va del compass a la unidad ACU4204, si un punto receptor es agregado al ACU4204 el sistema puede ser localizado por una señal en línea de vista sobre un satélite. Si una posición es elegida, el software incluido dentro de la unidad puede orientarse a la órbita satelital.

La unidad está contenida en un chasis de 1 UR x 400 mm de profundidad, su alimentación directa nominal es de 12 V DC a través de una batería. Esta es utilizada para alimentar el ACU y todos los requerimientos que demande el DCU montado en la antena. Esto permite que la antena sea liberada o guardada sin la presencia de una fuente principal. Los 12 V DC permiten usar la fuente del GPS receptor y ajustar la distancia del compass.

La unidad de control comunica al DCU a través del puerto serial de comunicación RS485. El DCU controla las secuencias de los movimientos de la antena y mostrara en la pantalla la posición y la información del status del DCU de la antena.

El sistema ACU4204 tiene una interfaz tanto para el GPS receptor como para el FLUXGATE COMPASS. El GPS es usado para realizar la función de localizar la antena de manera automática. La localización puede ser seleccionada en un modo manual desde la base de datos de una locación estable. El compass fluxgate es usado para realizar la orientación de la antena respecto de un norte magnético. Esto permite que el software del ACU4204 en base a un cálculo aproximado posiciona de manera automática a la antena respecto a algún satélite.

La fuente de DC tiene un circuito de protección a los altos voltajes. Si la DC sobrepasa 20V, la unidad deshabilitara todas las alimentaciones a los componentes del DCU de la antena, GPS y Compas. Una advertencia en la pantalla indicara que hay una alarma presente. Si la fuente de voltaje excede 25V, un tiristor cortara la alimentación general de DC. La principal protección son un par de fusibles con una corriente limitada de 25A.

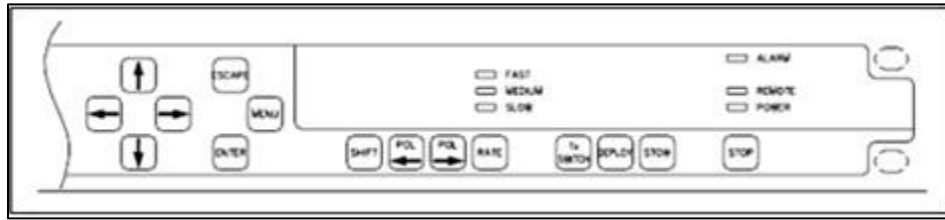


Figura 4.3 Panel frontal del controlador de Antena, GPS y Fluxgate.

#### 4.4.1 LEDS DE ALARMAS

El led de alarma indica la presencia de una alarma en el sistema de control de la antena. La detección de alarmas detectadas puede ser visualizada desde la opción FAULT en el menú.

#### LED DE REMOTO.

El led de remoto indica en el panel frontal del control que esta bloqueada la interfaz entre DCU y el REMOTO. El bloqueo del remoto puede ser desactivado desde MORE: SETTINGS: SYSTEM: CONTROL en el menú.

#### LED DE ENERGIA

Cuando la unidad esta encendida el led debe estar iluminado.

#### 4.4.2 TECLAS

##### TECLA STOP

La función de la tecla stop depende del estado del sistema de la antena.

Cuando la antena esta levantada o acostada, presionando la tecla STOP esta dejara de moverse hasta que el sistema reciba una nueva instrucción.

Si la antena esta en un estado de recalibración, presionando la tecla STOP saldrá de ese estado.

## **TECLA SHIFT**

La función marcada en rojo (TX SWITCH, DEPLOY, and STOW) es activada siempre y cuando la tecla shift este activada, la tecla shift debe ser presionada un tiempo antes de mandar a alguna de las mencionadas funciones.

## **TECLA TX SWITCH**

La posición actual de la guía de onda del polarizador se ajusta sobre el sistema de la antena, esta es mostrada en la pantalla LCD, para Y(V) o X(H). Para efectuar un cambio en el polarizador se realiza mediante la secuencia SHIFT y TX SWITCH.

Si TX SWITCH no esta indicada en la pantalla principal, se mostrara información acerca de que no hay presencia de guía de onda y esto provocara que se presente una alarma.

## **TECLA DEPLOY y STOW**

La tecla de DEPLOY y STOW activan el sistema de la antena levantándola y ocultándola, para operar el cambio, la tecla shift debe ser presionada al mismo tiempo.

## **TECLA RATE LEDS**

La velocidad de los movimientos de la antena es controla a través de la tecla RATE. Desde la pantalla se puede seleccionar el tipo de movimiento, "fast", "medium" y "slow" LED's. en el modo fast (rápido) la velocidad de movimientos es de  $2.0^{\circ}/s$  y los pasos son de  $1^{\circ}$ , en el modo médium (medio) la velocidad angular es de  $0.4^{\circ}/s$  y los pasos son de  $0.5^{\circ}$  y en el modo slow (bajo) la velocidad angular es  $0.1^{\circ}/s$  en pasos de  $0.1^{\circ}$ .

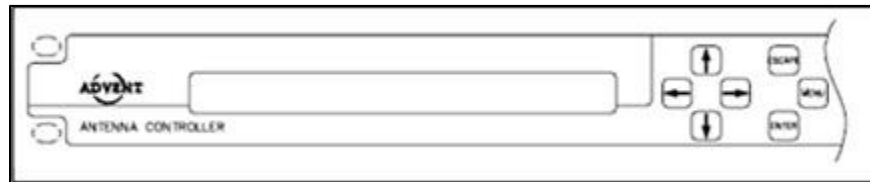
## **TECLA POL→ Y POL←**

Esta controla directamente los movimientos del polarizador, presionando y eligiendo una velocidad. Un pequeño pulso en esta tecla genera un comando para el ajuste principal de la elevación y el azimuth.

La pantalla principal cuenta con 2 funciones, modo de “operación” y modo de “menú”.

En el modo de menú, se despliegan en la pantalla todas las estructuras del árbol de menú.

En el modo de operación, se muestra en la pantalla el estado de la posición de la antena, donde el modo de operación permite a través de las teclas realizar el control para mover el azimut y la elevación de la antena. El polarizador de la antena es controlado por las dos teclas separadas POL.



**Figura 4.4** Pantalla principal LCD y Control de Fallas.

Tabla 4.1 Muestra todas las posibles fallas establecidas en fabrica que el equipo puede tener.

<u>Fault Code</u>	<u>Alarm Latched</u>	<u>Brief Description</u>
F1	✓	DCU power supply voltage low.
F2	✓	DCU motor supply failure.
F3		Motor drive module inhibit.
F4	✓	Inclinometer failure.
F5	✓	Inclinometer suspect.
F6	✓	Drive stall detected.
F7	✓	Drive freewheel detected.
F8		Drive end of travel detected.
F9	✓	Waveguide polarisation switch failure.
F10		Azimuth sensor failure.
F11	✓	Elevation sensor failure.
F12		Polarisation sensor failure.
F13		Elevation deployment sensor failure. (Lynx 2000)
F14		Feedarm deployment sensor failure. (Lynx 2000)
F15		Elevation stow sensor failure. (Lynx 2000)
F16		DCU FPGA programming failure.
F17		Manual brake override on.
F18		Azimuth axis stowing failure.
F19		Elevation axis stowing failure.
F20		Polarisation axis stowing failure.
F21		Elevation deployment axis stowing failure. (Lynx 2000)
F22		Feedarm deployment axis stowing failure. (Lynx 2000)
F23	✓	Power up state suspect.
F27		FPGA watchdog triggered.
F32		ACU-DCU serial link failure.
F34		ACU DCU +12V PSU failure.
F35		ACU-GPS serial link failure.
F36		ACU DCU +36V PSU failure.
F37		ACU-Compass serial link failure.
F38		ACU GPS +12V PSU failure.
F39		ACU Compass +12V PSU failure.
F40		ACU-Beacon Rx. serial link failure.
F42		Beacon receiver Unit Alarm.
F43		ACU Status +12V PSU failure.
F44		ACU supply over voltage. (ACU version B)
F45		BRX Unlocked. (Tracking BRX only)
F46		E <sup>2</sup> PROM Checksum failure.
F47		E <sup>2</sup> PROM timeout error.

#### 4.5 Amplificador de potencia, marca Xicom Technology, modelo XTD – 200K

El amplificador Xicom Technology XTD – 200K esta constituido por un amplificador de estado solido (SSPA) y un amplificador de alta potencia con un tubo “TWT” con potencia de salida de 180 Watts, en la banda de transmisión de 13.75 a 14.5 GHz. Esta contenido en un recipiente a prueba de humedad, puede ser montado en la antena o en exteriores El amplificador cuenta con un microprocesador para el control y monitoreo del sistema por medio de una computadora.

La alimentación de RF al amplificador es proporcionada por el Convertidor Ascendente marca Advent communications, modelo AUC3814

El amplificador tiene un sistema de enfriamiento por aire forzado el cual arrastra el aire frio que pasa a través de un disipador externo sin causar disturbios en la integridad a prueba de humedad del contenedor del amplificador de potencia.

El monitoreo y control basado en un microprocesador simplifican su operación y permiten la incorporación de una herramienta muy poderosa y amigable, tal como la lectura directa de la medición de potencia de RF en dBm o Watts. La operación es manejada por medio de un menú, con un arreglo simple y lógico acondicionado en orden de los parámetros utilizados más frecuentemente.

El sistema de control y monitoreo cuenta con dos interfaces, una interface COM1, RS-232 y otra interface COM2, RS-422/RS-485.

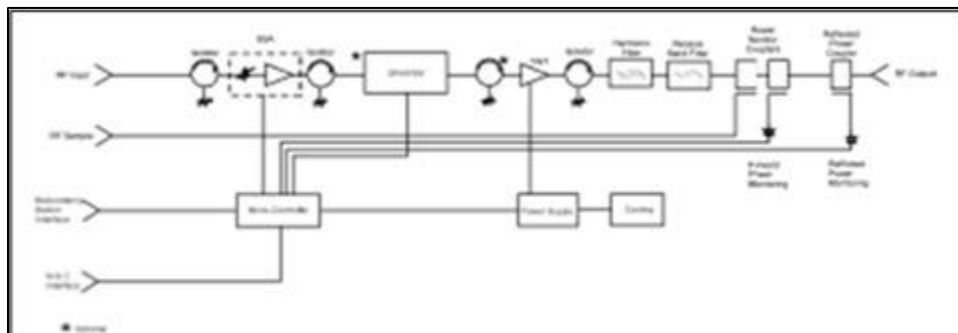


Figura 4.5 Diagrama a bloques del amplificador XTD -200-200K.

**Tabla 4.2 Posibles fallas establecidas en fábrica que el amplificador puede tener.**

Parameter	Default Value
Gain	Maximum Gain
Remote	REMOTE
RF Inhibit	OFF
Attenuator	0.0 dB
Max Power Trip	Disabled
Min Power Trip	Disabled
Max Reflected Power	Disabled
COM1	9600 Baud, None, 8/1
Constant Power	Disabled
Heater Standby	Enabled
Power Units	dBm
Temperature Units	Centigrade

### **Modos de operación del amplificador XTD – 200K**

El amplificador contiene cinco modos de operación: Filament Time Delay, Standby, Heater standby, Beam On, Fault.

Otros modos de operación del amplificador: Remote, Constant Power On, RF Inhibited, Auto HV ON.

Estados de la operación del amplificador: Output power changed, Alarm exists



#### **4.5.1 Modos de operación del amplificador principal**

##### **Filament Time Delay Mode**

Cuando la alimentación es suministrada al amplificador, el voltaje es aplicado al filamento del "TWT", los filamentos del "TWT" deben estar a su temperatura de operación para que el tubo funcione adecuadamente. El tiempo de calentamiento típico es de tres minutos, durante este tiempo de calentamiento, el estado del Byte "A" del FTD, bits 3 y 4 no están puestos por el momento

Si esta seleccionado el Transmit On antes de la alimentación la interrupción del alto voltaje debe ser restablecida después de tres minutos del FTD, sin importar el tiempo de duración de la interrupción.

##### **Standby Mode**

En este modo, no hay fallas y el "TWT" esta listo para que se aplique el alto voltaje.

Durante el standby el Bite "A" Bit 3 esta puesto en el Summary Status.

##### **Heater Standby Mode**

La temperatura del cátodo es determinante para la vida del tubo. La emisión de electrones desde la superficie del cátodo tiene un efecto de enfriamiento sobre la superficie del cátodo. Por consiguiente, cuando es apagado el alto voltaje la temperatura en la superficie del cátodo se incrementa acortando la vida del tubo. Este es un caso que se debe tomar en cuenta cuando el amplificador esta en modo standby y hacer más extensos estos periodos.

El modo Heater Standby extiende la vida del tubo cuando el alto voltaje es apagado, ya que en esta situación se reduce el voltaje de calentamiento de 5% a 8% dependiendo del "TWT", cuando el alto voltaje es apagado. La temperatura del cátodo se reduce a una temperatura ligeramente menor a la temperatura de operación normal.

El comando Heater Standby es ignorado durante el FTD.

Cuando el amplificador es puesto en línea y colocado en el modo Heater Standby, no hay tiempo de retardo cuando el alto voltaje es encendido. Durante el modo Heater Standby el Byte "B" Bit 4 esta puesto en el Summary Status.

### **High Voltage On Mode**

Cuando el high voltage On es seleccionado, el alto voltaje es aplicado al "TWT" si el ciclo del FTD se a completado y no hay fallas presentes. Si el High Voltage On es seleccionado antes de que el ciclo de Filament Time Delay se haya completado, el alto voltaje deberá permanecer OFF hasta que el ciclo del FTD se complete. Durante el modo High Voltage On el Byte "A" Bit 4 esta puesto en el Summary Status.

Cuando el alto voltaje es aplicado al "TWT" las señales de RF de entrada son amplificadas.

## **4.5.2 FALLAS**

### **Fault Mode**

El amplificador tiene internamente un sistema de protección y herramientas de diagnostico para ayudar en la detección de un mal funcionamiento y prevenir además daños al "TWT". Estas herramientas incluyen un punto de acceso en el cual se reportan fallas/alarmas, las cuales se pueden establecer. Cuando existen fallas que puedan afectar a un deterioro del "TWT" estas son detectadas por el circuito de detección de fallas de la fuente. Las fallas de alimentación están establecidas en la fuente.

### **Intrinsic Faults**

Las fallas intrínsecas no están puestas en la tabla. El reporte de estas fallas es vital para las condiciones del amplificador y deben ser atendidas inmediatamente.

### **Momentary Helix Arc Fault**

Cuando la fuente de alimentación detecta un Helix Arc Fault esta apaga el HV. El HV debe ser encendido nuevamente después de un tiempo de 300 msec. El máximo tiempo de retardo para detectar Helix Arc y apagar el HV es de 8.7 msec.

El modo de Helix Arc Fault Byte "A" coloca el Bit 4 en el Summary Fault Protocol.

### **Helix Arc Fault Latch**

Cuando la falla no es amarrada y persiste por tres ocasiones consecutivas de entrar/salir entonces esta debe ser amarrada después de la tercera opción y parar automáticamente el HV.

El modo de Helix Arc Latch Byte "A" coloca el Bit 5 en el Summary Fault Protocol

### **Twt Over-Temperature Fault**

Una falla de sobrecalentamiento del "TWT" ocurre cuando la temperatura del colector del "TWT" excede los 90°C. Esta falla no se amarra. El Alto Voltaje debe ser habilitado automáticamente cuando se limpia la falla de sobre temperatura (si esta seleccionado el modo High Voltage ON).

El modo Over Temp Fault Byte "A" coloca el Bit 3 en el Summary Fault Protocol

### **Thermal Interlock Fault.**

Una falla del interlock de falla de temperatura ocurre cuando se abre el interruptor del interlock de temperatura colocado en la placa de la base del TWT. Esta falla no se amarra y sucede cuando la temperatura en la placa de la base excede los 115°C. El Alto voltaje debe ser habilitado automáticamente cuando se limpia el Thermal Interlock fault (si esta seleccionado el modo High Voltage ON).

El modo Thermal Interlock fault Byte "D" coloca el Bit 0 en el Summary Fault Protocol

### **Over Voltage Fault**

Una falla de sobre voltaje deberá ser amarrada inmediatamente cuando el HV excede en dos por ciento el voltaje nominal de operación

El modo Over Voltage fault Byte "A" coloca el Bit 2 en el Summary Fault Protocol

### **Under Voltage Fault**

Una falla de bajo voltaje deberá ser amarrada inmediatamente cuando el HV disminuye en dos por ciento el voltaje nominal de operación

El modo Under Voltage fault Byte “B” coloca el Bit 5 en el. Summary Fault Protocol

### **Low Line Fault**

Una falla de línea baja ocurre cuando el voltaje de entrada de DC cae abajo del limite de 22.5 VDC.

El modo Low Line fault Byte “A” coloca el Bit 0 en el Summary Fault Protocol

### **External Interlock Fault**

Una falla del interlock externo ocurre cuando el interlock externo se abre entre los Pin J1 A y Pin J1H.

El alto voltaje deberá ser habilitado automáticamente cuando la falla del Interlock externo es limpiada (si esta seleccionada el modo High Voltage ON).

El modo External Interlock Byte “B” coloca el Bit 3 en el Summary Fault Protocol

## **RF (Settable Faults)**

### **Reflected RF Fault**

El usuario tiene la opción de seleccionar una falla de potencia reflejada u otra falla, o desactivar la alarma cuando la potencia reflejada excede el límite establecido en la tabla cuando la alarma esta puesta, esta condición es mostrada en las marcas de falla pero el amplificador puede seguir operando. Una falla de RF reflejada ocurre cuando el modo Reflected RF fault es habilitado y la potencia de RF reflejada excede el límite establecido.

El modo Reflected RF fault Byte “B” coloca el Bit 4 en el Summary Fault Protocol

### **High RF Fault**

El usuario tiene la opción de seleccionar una falla de Alta RF u otra falla, o desactivar la alarma cuando la excede el límite establecido en la tabla cuando la alarma esta puesta, esta condición esta mostrada en las marca de falla pero el amplificador puede seguir operando. Una falla de Alta RF ocurre cuando el modo de la falla de Alta potencia de salida habilitado y la potencia de salida de RF excede el límite establecido

El modo Hight RF fault Byte “B” coloca el Bit 1 en el Summary Fault Protocol

### **Low RF Fault**

El usuario tiene la opción de seleccionar una falla de Baja RF u otra falla, o desactivar la alarma cuando la excede el límite establecido en la tabla Una falla de Baja RF ocurre cuando el modo de la falla de Baja potencia de salida esta habilitado y la potencia de salida de RF esta abajo del límite establecido

El modo Low RF fatult Byte “B” coloca el Bit 2 en el Summary Fault Protocol

### **Fault Reset**

Una falla tiene que ser limpiada antes de ser restablecida. El comando Byte “B” debe restablecer todas las fallas de los amplificadores.

### **4.5.3 OTROS MODOS DE OPERACIÓN DEL AMPLIFICADOR**

#### **Constant Power**

El modo de potencia constante es con el propósito de compensar la ganancia debido a la temperatura cuando el amplificador esta trabajando por periodos grandes de tiempo. La salida del amplificador puede ser puesta para un nivel constante si el modo constant power es habilitado. En este modo el amplificador pone pistas de seguimiento a la potencia de salida y el atenuador se ajusta automáticamente para mantener la potencia de salida en el nivel establecido.

Se usa el comando Byte “F” para tener la potencia en dBm. Se usa el comando Byte “G” para tener la potencia en Watts. Se usa el Byte “H” para inhabilitar la potencia constante

#### **Go To Power.**

El comando Go To Power ajusta la potencia de salida a un nivel establecido con un control de 0.1 dB cada 200 msec. Se usa el comando Byte “D” para tener la potencia en dBm Se usa el comando Byte “E” para tener la potencia en Watts.

El comando Go To Power se sobre pone al comando Constant Power.

#### **RF Inhibited.**

Este comando corta el voltaje de polarización del linearizador e inhibe la excitación de RF al “TWT”. La RF inhibida puede ser controlada de dos maneras:

Usando el comando Byte 1 del protocolo del Serial.

Usando el interlock del Optoaislador situado en la entrada J1-G.

La interface del interlock del Optoaislador en la entrada J1 predominara sobre la interface serial de la RF inhibida.

El comando Byte J limpia el RF inhibit y activa la excitación de RF al “TWT”.

**Auto HV On.** El Auto High Voltage ON, Byte "B" coloca el Bit 0 el Summary Status, este es puesto durante el FTD si esta seleccionado el Transmit ON.

**Other Amplifier Operating Status.** El amplificador contiene un Built-in Test Equipment (BITE) que ayudan a minimizar la supervisión y diagnosticar el mal funcionamiento lo que simplifica el mantenimiento. Estos BITEs incluyen, fallas, alarmas y detección de cambios de potencia en la salida.

**Output Power Changed.** Si hay un cambio de 0.2 dB o más en la potencia de salida de RF, Byte "B" colocada el Bit 3 en el Summary Status.

**Alarm Exists.-** El Summary Status

#### 4.6 Convertidor Ascendente marca Advent communications, modelo AUC381

El Convertidor Ascendente AUC381 esta específicamente diseñado para trasladar las frecuencias de entrada de la banda “L” a frecuencias de salida en la banda “Ku”. Este convertidor ascendente tiene la calidad, estabilidad y desempeño requerido para las aplicaciones de transmisión demandadas en INTELSAT, EUTELSAT y otros sistemas de comunicaciones por satélite.

La unidad esta conformada por un mezclador/aislador/filtro y un oscilador local en la banda de SHF que genera la frecuencia de transición. Este oscilador esta amarrado en fase a un oscilador de referencia de bajo ruido de 50 MHz, el cual también esta ubicada dentro de la unidad.

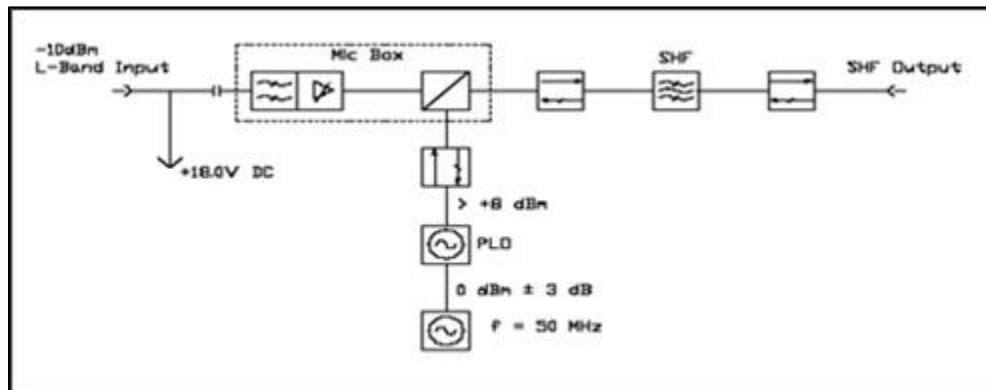


Figura 4.6 Diagrama a bloques de convertidor ascendente.

Esta unidad requiere un voltaje de DC de 18 V con 1A máximo y puede ser suministrado desde el frente del panel con un conector multipin o con un cable coaxial desde el puerto de entrada de la banda “L”.

La unidad del mezclador tiene un atenuador pin-diode, el cual proporciona una variación mínima de 20 dB en la señal de entrada a la unidad, para ecualizar la longitud del cable dentro de un sistema. El ajuste se realiza con un desarmador desde la cubierta que se encuentra en la parte superior de la unidad.



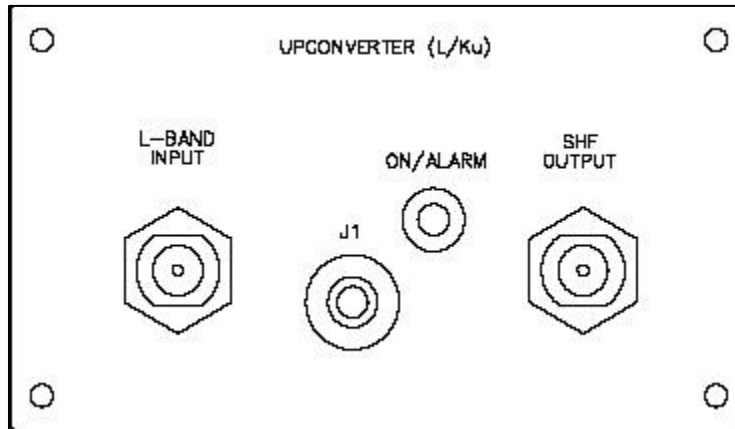


Figura 4.7 Diagrama donde se muestra el panel frontal de la unidad.

### ON/ALARM LED

Los dos colores del LED (verde/amarillo) marcados como ON/ALARM indican la presencia de los + 18V DC de alimentación cuando el verde esta iluminado, y si el amarillo se ilumina, muestra que el PLO esta fuera de amarre de fase.

### CONNECTORES TIPO N

La entrada de banda L y la salida de SHF se realizan a través de este tipo de conector.

### CONNECTOR J1

El conector J1 sobre el frente del panel tiene las siguientes funciones:

Pin 1: 0V.

Pin 2: Status relay, closed contacts port 1

Pin 3: Remote OFF input and PLO tuning voltage output monitor

Pin 4: Alarm output (+10V nominal = OK)

Pin 5 : DC power (18V @1A max.) input/output

Pin 6: Status relay, closed contacts port 2

Pin 7: Chassis

Pin 2 y 6: La unidad proporciona unos contactos del relevador perfectamente cerrados cuando la DC esta presente y el estado del PLO es normal. En condiciones de falla los contactos se abren y abren el circuito.

Pin 3: REMOTE OFF & PLO PHASE VOLTS MONITOR.

Para inhibir la SSA y consecuentemente la potencia de salida de RF, se aplica una baja impedancia entre los pines 3 y 1 (o tierra). La impedancia máxima es de 100  $\Omega$ . Cuando este puerto esta en circuito abierto, el voltaje de control de la espira de control de amarre sobre el oscilador PLO puede ser monitoreado entre los pines 3 y 1 (tierra) para permitir el ajuste. La impedancia máxima de carga es de 100  $\Omega$ .

Nota.- El voltaje de entonamiento en el PLO debe ser aproximadamente 2V menor que el voltaje en este punto.

Pin 4: ALARM OUTPUT (10)

Un voltaje de esta alarma esta presente entre los pines 4 y 1 para monitorear si el PLO esta fuera. La máxima impedancia de carga es de 100k $\Omega$ . Si el voltaje esta debajo de 10V, el PLO esta fuera de amarre de fase.

Pin 5: POWER INPUT/OUTPUT

La unidad puede ser alimentada usando los pines 5 y 1, o esta alimentación puede ser suministrada desde J1 si el convertidor ascendente es alimentado por un cable de la banda L. La salida esta considerada para 1A.

#### 4.7 Encoder/Modulador marca Advent communications, modelo DVE5000

El excitador de video de la serie digital DVE5000 tiene una combinación de formato HD/SD MPEG, también cuenta con un modulador y controlador serial para un HPA, todo contenido en 1U de RACK.

Incluye opciones de salida:

“70 MHz”	52-88 MHz
“BANDA L”	950-1750 MHz
“ASI”	270 Mb/s A ISO/IEC 13818-2 188 Bytes.

El modelo en la parte de la BANDA L, incluye una entrada para la combinación de una comunicación externa de otro equipo u otra aplicación para el modulador del DVE.

También tiene una salida de monitoreo para conectar un receptor satelital (IRD) o un analizador de espectros, para monitoreo en BANDA L.

La salida en BANDA L puede ser sintonizada desde los 950 a los 1750 MHz en ciclos de 1 KHz, y la amplitud puede ser variada sobre un rango de 40 dB. La máxima salida es de +5 dBm.

El encoder cuenta con una salida de 70 MHz opcional donde puede tener los siguientes esquemas de modulación DVB-T/LMS-T\*/DVB-S/DVBS-2.

La salida de 70 MHz es sintonizada (dependiendo el SYMBOL RATE/ANCHO DE BANDA) de 52 MHz a 88 MHz en ciclos de 1KHz., la amplitud puede ser controlada hasta 12 dB dependiendo del esquema de modulación.

Este modelo contiene formatos PAL/NTSC análogos estándar, con un sistema de definición 4:2:0 y 4 canales de audio análogo.

Otra opción disponible para una codificación en alta definición, 4:2:2 para una entrada de video digital, con audio EMBEDDED, ocho entradas para canales AES/EBU, AUDIO DIGITAL, DOLBY E PASS-THRU, y un bajo retardo de 80 Ms (SD).

Otras opción similar disponible es multiplexar una entrada ASI con otro excitador en cadena.

El video codificado 4:2:2 puede ser usado a 50MB/s (SD), 80MB/s (HD) cuando se utiliza un modulador interno y hasta 100 Mb/s (HD) en un modo de salida ASI.

Toda la manipulación por medio del control remoto, puede hacerse a través del puerto RS232/485.

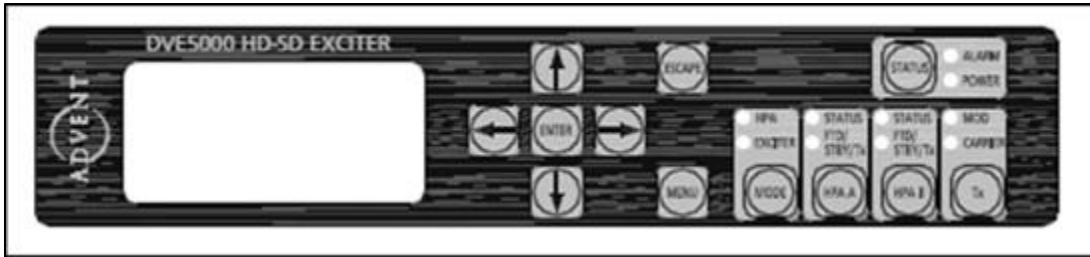


Figura 4.8 Figura donde se muestra el Panel Frontal.

#### 4.7.1 SELECCION DE TECLAS

La tecla **MENU** en la caratula principal permite un rápido acceso a el menú de operación. Presionándola podrá regresar o entrar al árbol de menú que desee acceder.

#### ESCAPE

La tecla de **ESCAPE** permite salir de algún menú seleccionado. Con esta tecla podrá regresar a algún menú o bien salir de una operación en la cual exista un valor mal asignado a la configuración.

#### TECLAS SCROLL PARA MENU

**UP/DOWN, LEFT/RIGHT** estas teclas sirven para seleccionar y navegar una opción dentro de un árbol de menús.

La tecla de **ENTER** selecciona una opción que halla sido elegida, para abortar el valor.

Con las teclas del **SCROLL** se pueden cambiar los valores enseguida de un **ENTER** para aceptar el nuevo valor o bien **ESCAPE**

## TECLAS DE RAPIDO ACCESO

La tecla de **TX** es usada para activar o desactivar la portadora desde el control del modulador. Presionando una vez activara la portadora, presionando una vez mas desactivara la portadora. Si se deja presionada más de 2 segundos activará un seguro para la opción del modulador.

## TECLA STATUS

Presionando la tecla **STATUS** entraremos de forma directa a un menú que describirá en la pantalla un directorio de alarmas.

## TECLA HPA A (B)

Presionando la tecla **HPA A (B)** activa o desactiva la transmisión, si los amplificadores están activados se indicara con un led en color verde

## TECLA MODE

La tecla **MODE** al presionarse desplegara un menú que mostrara los parámetros de el excitador y los parámetros de control del HPA.

**4.7.2 LEDS ALARMAS:** Cuando este led se ilumine en color rojo, un error interno ha ocurrido.

En la siguiente lista se indican los tipos de errores que provocan una falla.

1. Secondary alarm summary
2. Clock error
3. Over Temperature
4. Reserved
5. Reserved
6. Encoder fault\*

7. Internal HPA controller fault
8. Up-converter fault
9. Fan 1 Stopped
10. Fan 2 Stopped
11. Video Lock
12. Audio A lock
13. Audio B lock
14. Remux Not active
15. HPA A Comms fail\*
16. HPA B Comms fail\*
17. HPA A Interlock
18. HPA A Temperature
19. HPA A Helix
20. HPA A High output
21. HPA A Low Power
22. HPA A Refl Power
23. HPA A PSU
24. HPA B Interlock
25. HPA B Temperature
26. HPA B Helix
27. HPA B High output
28. HPA B Low Power
29. HPA B Refl Power
30. HPA B PSU

\*Estas fallas causaran que la salida del DVE5000 sea inhabilitada, hasta que esta falla haya sido borrada.

### **LED POWER**

**POWER-** Cuando él está iluminado indica que la unidad está encendida.

### **LED MODE**

**MOD-** Cuando está iluminado en verde indica que la modulación está siendo aplicada a la portadora

### **LED CARRIER**

**CARRIER-** Cuando está iluminada en verde indica que la portadora está presente

### **LED STATUS HPA**

**STATUS (HPA)-** Cuando se ilumina verde indica que el HPA está encendido y esta funcionando correctamente, si se ilumina en rojo indica que el HPA presenta una falla.

### **LED FTD**

**FTD/STBY/TX-** Cuando flashea color ámbar, el HPA presenta un retardo (FTD) el cual lo mantendrá en un estado de STANBY, si esta flasheando color verde el HPA estará en proceso de transmisión.

Nota: FTD no es válido para SSPA'S

### **LED HPA**

**HPA/EXCITER-** Mostrara alternativas para el menú del HPA o el árbol de menú del excitador.

#### 4.8 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA ESTACION TERRENA

##### Antena

Tipo	Alimentación OffSet
Diámetro	1.2 metros
Configuración	Foco principal
Montaje	Elevación sobre el azimuth
Frecuencia Banda KU	Tx 12.75 a 14.5 GHZ Rx 10.7 a 12.75 GHZ
Ganancia	Tx 43.3 dBi typ @ 14.25 GHZ Rx 41.2 dBi typ @ 11.2GHZ
G/T	11.20 GHZ=19.2 dBk  (Asumiendo LNB 60 dB gain 0.7dB NF)
Off-axis gain	Tx 29 - 25 log $\theta$ dBi for $100 \lambda / D < \theta < 20$ -3.5 dBi for $20 < \theta < 26.3$ Rx 32 - 25 log $\theta$ dBi for $26.3 < \theta < 48$ -10 dBi for $48 < \theta < 180$
Tipo de polarización	lineal
Cross polar isolation	-35 dB rel co-polar gain within -1 dB contour
VSWR	Tx 1.2:1 Rx 1.3:1
Port/port isolation	Tx/Rx: 40 dB (110 dB incl. filter) Rx/Tx: 30 dB



Pointing stability	$\lt 0.5$ dB
Waveguide flangers	WR 75/ R 120 flanges
Control de posición de la antena	full 3-axis motor control with manual override
Mechanism	
Ajuste de Azimuth	360°
Ajuste de Elevación	6 a 91°
Ajuste de polarización	$\pm 90^\circ$ (with H/V waveguide switch)
Unidad de control de la antena	Interface serial remota
Peso	89 kilogramos antena completa, sin incluir el Equipo transmisor de RF

#### 4.9 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL CONTROLADOR DE ANTENA

##### Físicas

Dimensiones chasis de 1 UR x 400 mm de profundo.

Peso 3.0 kg aprox.

Alimentación 12 V DC nominal (10-14 VDC)

Consumo 15 A max. (Newswift MKII)

Rango de temperatura -20 a 50°C en operación  
-40 a 80°C sin operación.

##### Pantalla de posición angular

Azimuth  $\pm 0.1^\circ$

Elevación  $\pm 0.1^\circ$

Polarización  $\pm 0.1^\circ$

##### Control Angular

##### Velocidades angulares

Modo de operación Rápido: 2.0°/s

Medio : 0.4°/s

Lento : 0.1°/s

Newsift

DCU3015            EL            Rápido:            1.0°/s

Lynx 2000

DCU3020            AZ,EL            Rápido:            1.0°/s

Mantis motorizada

DCU32xx                            Rápido:            0.5°/s

Pasos angulares

Todos los tipos de unidades            Rápido:            1.0°

Medio:            0.5°

Bajo:            0.1°

#### 4.10 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA.

Especificaciones Eléctricas del TWTA.

Frecuencia	13.75 a 14.50 GHz	
Potencia.		
Potencia de salida de RF	175 W	(52.4 dBm) mim
Referencia de potencia del "T"WT	200 W	(53.0 dBm) min
Ganancia, Señal Grande	70 dBm	
Ganancia, Señal Pequeña	70 dBm	
Variación de Ganancia, SSG		
Sobre la banda de	750 MHz, 2.5 dB/750 MHz max.	
Sobre cualquier banda de 80 MHz	1.0 dB/80 MHz	
Ganancia de la pendiente	$\pm 0.04$ dB/MHz	
Estabilidad de la ganancia con la temperatura	$\pm 1.0$ d	A cualquier frecuencia
Estabilidad de Ganancia con el tiempo	$\pm 0.25$ dB/24 hrs.	
Control de Ganancia	25 dB	
Intermodulación con 2 portadoras iguales	-28 dBc max.	
Con TOPBO=P -4 dB,		
Armónicas en la Salida	-60 dBc max.	

Conversión de AM a PM	2.5 deg/dB con 6 dB abajo d de la max relación de potencia.
Potencia de Ruido	
Banda de Transmisión	-70 dBw/4KHz max.
Banda de Recepción (10.95-12.75 GHz)	-150 dBw/4KHz max.
Retardo de Grupo en 80 MHz.	
Lineal	0.01 nS/MHZ max.
Parabólica	0.005 nS/MHz al cuadrado max.
Ripple	0.5 nS/Pk-PK max.
Ruido Residual en AM-	-50 dBc arriba a 10 kHz max. -20 (1.5 + log(Frec) ) dBc 10 KHz a 500 KHz max -85 dBc abajo a 500 KHz max.
Señales Espurias limite espectral	-50 dBc arriba a 10 kHz max. -20 (1.5 + log(f) ) +13 dBc 10 KHz a 500 KHZ max -72 dBc abajo a 500 KHz max.
Line Related, individual	-50 dBK

Power Line Related,

Suma de todos -47 dBK

VSWR

Entrada 1.3 : 1 max.

Salida 2.2 :1 max.

Alimentación 100-260 VCA

850 VA max.

0.95 Factor de Potencia max.

47 a 63 Hertz

Una face:

Interface Serial

RS - 232 Monitor y Control (COM 1)

RS – 422/485 (Modo 4 alambres Monitor y Control (COM 2)

Modo 2 alambres)

#### 4.11 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL CONVERTIDOR ASCENDENTE

Rango de frecuencia de entrada	950 a 1750 MHz.
Rango de frecuencia de salida	13 o 14 GHz.
Exactitud de frecuencia	$\pm 200$ Hz nominal a 25°C
Estabilidad de frecuencia	$\pm 1$ kHz max
Nivel de entrada	-10 dBm nominal +20 dBm sin dañarse
Potencia de salida	-5 dBm mínimo con 1 dB de compresión
Ganancia	- 2 dB max. -25 dB min. ajustable por un atenuador
Variación de ganancia	$\pm 0.2$ dB solo para 40 MHz. $\pm 1$ dB en toda la banda. $\pm 1$ dB con temperatura constante y frecuencia constante
Variación de retardo de grupo	2 ns solo para 40 MHz
Ruido de fase en SSB	
10 KHz	-90 dBc/Hz
100 KHz	- 100 dBc/Hz
1 MHz	-120 dBc/Hz
Entrada de VSWR	2:1 en 50Ω
Salida de VSWR	1.5:1 en 50Ω
Espurias	
(Modulada)	-70 dBc
(No modulada)	-55 dBc
(Armónicas)	-20 dBc

#### 4.12 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ENCODER/MODULADOR.

Físicas

Dimensiones 1 RU ½ ancho X 350 mm de profundidad

Peso 1.7 Kg aproximadamente

Conector POWER 3 pin IEC plug con doble fusible

Fuente AC 90-264 V AC, 47 A 63 HZ @ <60 VA

Rango de temperatura 0 a +50°C operando -20 A +80°C almacenados

Humedad 90% máxima no condensada

RS232/485, STATUS,HPA

Control Conector tipo-D hembra de 15 pines

Ethernet control Conector tipo RJ45

Puertos USB tipo A

Conectores para

video, ASI, 70 MHz Conector tipo BNC a 75Ω

Monitoreo de RF en

BANDA L, salida de RF

en BANDA L Conector tipo N a 50Ω

Combinador de RF en

BANDA L Conector tipo TNC a 50Ω

Entradas de audio

Conector tipo-D macho de 15 pines con terminación en 4 conectores XLR



Entradas

CVBS PAL/NTSC Compuesto 1 Vp-p A 75Ω

SDI (opcional) PAL/NTSC video digital serial a ITU-R BT.656/ANS I/SMPTE 259M @ 270Mb/S

8 canales (4 ESTEREO) AUDIO EMBEDDED

(solo 4 compresiones) a 75Ω

HDSDI (solamente HD) Para SMPTE 292M @1.485Gbit/s

ASI (opción RE-MUX) 75Ω A ISO / IEC 13818-2 188 bytes

Audio Digital DIGITAL-AES/EBU balanceado a 110 Ω para IEC 60958

Combinador de BANDA L 6 dB de ganancia con un cople pasivo de ±1 dB de atenuación a la salida principal de BANDA L

Salidas

BANDA L 50Ω, 950-1750 MHz con ganancia de ±0.75 dB, Control -5 dBm 35 dB O +5 dBm 40 dB Control; seleccionable desde el panel frontal.

Monitoreo BANDA L 50Ω, 20 dB ±3 db menos que la salida principal de la BANDA L

ASI	75Ω,ISO/IEC 13818-2 velocidad constante de 188 Bytes
70 MHz	75Ω, 70 MHz (puede sintonizarse de 52-88 MHz, dependiendo del symbol rate/ancho de banda) DVB-S/S2, 0dBm A -12dBm DVB-T -5dBm A -15dBm
DC para BANDA L	17V @ 1A MAX.
10 MHz referencia BANDA L	0dBm min., parámetro de fabrica
FSK para control de HPA en BANDA L	0dBm <2 MHz
Control Remoto	
Control remoto (serial)	Switcheo automático a través de la interfaz RS232/RS485.
USB	Para un grado mayor
Control remoto (Ethernet)	10/100 MBITS/S
Dirección IP (default)	192.168.0.90
Mascara de subred	255.255.255.0
Dirección MAC	00.1D.65.xx.xx.xx (x se genera desde el número de serie)
Control de HPA	Con el protocolo de fábrica del HPA a través de la interfaz RS485

## FUNCIONAMIENTO

BANDA BASE

AUDIO

THD	<0.1%
Respuesta en frecuencia	20Hz-18KHz +/-0.25dB
Crosstalk	<60dB @ velocidad mínima por bit
Velocidad de muestreo	48 KHz fijos
Velocidad mínima por bit	128 KBits por cada canal estéreo
Relación señal a ruido	>65dB

VIDEO (Compuesto solo SD)

Ganancia diferencial	<1%
Fase diferencial	<1 grado
Ancho de banda de luma	5.5 MHz
No linealidad en Luma	1%
No linealidad en Croma	1%
Relación señal a ruido	>56dB
Respuesta en pulso 2T	<1%K
Pulso K en barras	1%
KBAR	0.05%
Tiempo Y/C	10nS
Jitter	+/-2nS (1 campo)
Retardo de codificación estándar (SD)	<200mS
Retardo de codificación	

bajo (SD)	<80mS opcional*
Retardo de codificación (HD)	<80mS*
*Este no incluye IRD	
A/V COMPRESION	
SD 4:2:0 perfil principal @ nivel	velocidad constante de 1.0-15 Mbits/s principal (solo frame 1&P)(dependencia mínima del FEC)
	Opcional
SD 4:2:0 perfil principal @ nivel	velocidad constante de 1.0-50 Mbits/s
(solo frame 1&P)	principal (dependencia mínima del FEC)
HD (opcion) 4:2:0 field/frame	4.5-80 Mbits/s
codificación (solo en modo DVBS)	
HD (option) 4:2:2 field/frame	4.5-80 MBITS/s
codificación (solo en modo DVBS)	
(solo frames 1&p)	
Audio total 8 canales (4 pares)	
Audios a y b	MPEG LAYER 2
	MPEG LAYER 1
Velocidades de audio A Y B	128Kbs/160Kbs/192Kbs/ 224Kbs/256Kbs/320Kbs/ 384Kbs/448Kbs(SOLO LAYER 1)/ PCM LINEAL/DOLBY PASS-THRU 2.4Mb/s

#### 4.13 FORMATOS DE VIDEO

Los siguientes formatos de video son soportados dependiendo de la licencia adquirida. Se muestran en la siguiente tabla.

HD 1080PsF30	<b>SD PAL-N</b>
HD 1080PsF29	<b>SD PALM-M</b>
HD 1080PsF25	<b>SD PAL-I</b>
HD 1080PsF24	
HD 1080PsF23	<b>SD NTSC SIN PEDESTAL</b>
HD 1080p/30	<b>SD NTSC</b>
HD 1080p/29	SD SDI 525
HD 1080p/25	SD SDI 625
HD 1080p/24	
HD 1080p/23	SD resolución horizontal <b>704/720</b> (opción disponible)
HD 1080i/60	
HD 1080i/59	
HD 1080i/50	Resolucion vertical (lineas)- <b>NTSC 480, PAL 576</b>
HD 720p/60	
HD 720p/59	
HD 720p/50	
HD resolución horizontal – 1920@1080i/p, 1280@720p	

## RF

Rango de frecuencias 70 MHz	52-88 MHz (dependiendo el symbol rate/ancho de banda)
Rango de frecuencias en BANDA L	950-1750 MHz +/- 0.75 dB
Tamaño del ciclo de frecuencia	1KHz
Estabilidad de frecuencia	+/- 2 X 10e-8
Fase de ruido	A IESS 308/309
Proporcion ON/OFF	60 dB
Espurias	-70 dBc/ 4 KHz
Symbol Rate DVBS QPSK	1-36 Ms/s
Symbol Rate DVBS 8PSK	1-31.0 Ms/s
Symbol Rate DVBS 16QAM	1-21.3 Ms/s
Symbol Rate DVBS-2 QPSK/8PSK	1-45 Ms/s
Modulación DVB-T opcional	Ancho de banda de 6/7/8 MHz
QPSK, 16QAM, 64QAM	solo 2 portadoras 2K en un intervalo 1/32, 1/16, 1/8, 1/4
Modo de modulación	Normal/invertido
DVBS – QPSK	FEC rates 1/2,2/3,3/4, 5/6,7/8.
DVBS – 8PSK	FEC rates 2/3.
DVBS – 16QAM	FEC rates 3/4.
DVB-T - QPSK, 16QAM, 64QAM	FEC rates 1/2,2/3,3/4, 5/6,7/8.
DVBS-2 –	
	QPSK 1/4, QPSK, 1/3, QPSK 2/5, QPSK 1/2, QPSK 3/5, QPSK 2/3, QPSK 3/4, QPSK, 4/5, QPSK 5/6, QPSK 8/9, QPSK 9/10. 8PSK 3/5, 8PSK 2/3, 8PSK 3/4, 8PSK 5/6, 8PSK 8/9, 8PSK 9/10.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES**

Al elaborar los cálculos se observó, los parámetros necesarios para diseñar la estación terrena móvil, siempre tomando en cuenta, que se debe dejar un margen holgura, para que los equipos no trabajen en una zona de saturación.

A partir de los parámetros establecidos, se investigó el equipo idóneo para cumplir con las condiciones de un enlace, utilizando un transponder del satélite Satmex 6, el cual como punto de transmisión fue la ciudad de Tula y se estableció un punto de recepción fijo en la capital Pachuca.

Este proyecto, en sí, traerá consigo muchos beneficios a la televisora Radio y Televisión de Hidalgo. No solo beneficios económicos sino que ampliará su área de cobertura abriendo la puerta a nuevas oportunidades de mercado que debido al difícil acceso no son tan comerciales, así se tendrá una mayor proyección hacia el estado de Hidalgo, además de optimizará los recursos propios.

En esta investigación decidimos utilizar la banda Ku, debido a que presenta mayores ventajas sobre las bandas C y Ka, como la atenuación provocada por la lluvia, neblina, calor y la humedad del terreno.

Una de las ventajas por no mencionar la más importante es: que la característica que le da la movilidad a la estación terrena es la ventaja de que los parámetros para realizar cálculos son fijos y solamente se varían la latitud y la elevación del lugar a realizarse la transmisión, facilitando así el trabajo del operador de la unidad.

## GLOSARIO

**Azimuth:** Angulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal sur (Norte) y la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud Norte (Sur). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj: Norte-Este-Sur-Oeste.

**Back Off:** Diferencia entre la potencia de saturación del amplificador y la potencia realmente obtenida.

**Banda Base:** Banda de frecuencias producida por un transductor, tal como un micrófono u otro dispositivo generador de señales que no es necesario adaptarlo al medio por el que se va a transmitir. Generalmente utilizada para modular una portadora.

**Bit Error Ratio (BER):** Número de bits o bloques incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits o bloques enviados durante un intervalo especificado de tiempo.

**Coplanares:** Se encuentra en un mismo plano

**Copolarizada:** Estado de polarización de la onda radar es la misma para transmisión y recepción.

**Densidad de Flujo de Saturación(DFS):** Densidad de flujo de potencia (dBW/m<sup>2</sup>) a la entrada de la antena que hace que el transpondedor alcance la saturación.

**Doppler:** Cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento relativo entre la fuente, el emisor y/o el medio.

**Eb/No (Relación Energía por Bit / Densidad Espectral de Potencia de Ruido):** Medida de la SNR (relación señal a ruido) normalizada, y también se conoce como "SNR por bit". Es especialmente útil cuando se comparan las BER (Bit Error Ratio) de distintos esquemas de modulación digitales, sin tener en cuenta el ancho de banda. Es una magnitud adimensional.

**Federal Communications Commission (FCC):** Agencia estatal independiente de Estados Unidos, bajo responsabilidad directa del Congreso.

**Forward Error Correction (FEC):** Factor debido al código de corrección de errores por adelantado.



**Frecuencia Intermedia (FI):** Frecuencia que en los aparatos de radio que emplean el principio superheterodino se obtiene de la mezcla de la señal sintonizada en antena con una frecuencia variable generada localmente en el propio aparato mediante un oscilador local (OL) y que guarda con ella una diferencia constante.

**Figura de Merito G/T:** Capacidad de la antena para conseguir un alto valor de la relación señal a densidad espectral de potencia.

**Frecuencia Modulada (FM):** modulación angular que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia.

**Fuerza Centrifuga:** Fuerza ficticia que aparece cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación.

**Haz:** Región donde se encuentra cobertura, ya sea por parte del satélite o por parte de la estación terrena.

**Interfaz:** Conexión entre dos ordenadores o máquinas de cualquier tipo dando una comunicación entre ambas.

**Latitud:** Distancia angular entre el ecuador y un punto determinado del planeta medida a lo largo del meridiano que pasa por ese punto.

**Longitud:** Distancia que se encuentra entre dos puntos. La longitud de un objeto es la distancia entre sus extremos, su extensión lineal medida de principio a fin.

**Nodo:** Cualquiera de los dos puntos en que una órbita corta a un plano de referencia que puede ser la eclíptica o el ecuador celeste.

**Ortogonales:** Multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

**Potencia Isotrópica Radiada efectiva (PIRE):** Potencia aparente transmitida hacia el receptor, si se asume que la señal se irradia igualmente en todas direcciones, tal como una onda esférica que procede de un punto fuente; en otras palabras, el producto aritmético de la potencia suministrada a una antena y su ganancia.

**Quadrature Phase Shift Keying (QPSK):** Modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos.

**Radiofrecuencia (RF):** Porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.

**Roll Off:** Pendiente de una función de transmisión, con frecuencia, sobre todo en el análisis de redes eléctricas, y muy especialmente en relación con los circuitos de filtro en la transición entre una banda de paso y una banda de rechazo.

**Telemetría:** Tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.

**Temperatura de Ruido:** La antena capta y transmite al receptor el ruido térmico irradiado por la superficie del suelo.

**Transponder:** Equipo que realiza la función de recepción, amplificación y reemisión en una banda distinta de una señal (estos transpondedores se utilizan en comunicaciones espaciales para adaptar la señal satélite entrante/saliente a la frecuencia de los equipos en banda base).

**Triaxial:** Con tres ejes se refiere al modelo de la estabilidad del satélite.

**Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT):** Organismo encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

## REFERENCIAS

- Guerrero Ojeda, Luis Gerardo. Apuntes de Telecomunicaciones.
- Escudero , José I. Comunicaciones digitales por satélite.
- Clarke, Arthur C. “Extraterrestrial relays”, revista wireless world, octubre 1945.
- J. Alpuente, Seminario “Ingeniería de telecomunicación”.
- J. Alpuente, Seminario “Propagación de ondas”.
- Hernando Rábanos, José María. Editorial centro de estudios Ramón Areces, S.A universidad politécnica de Madrid.
- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 4 ed, editorial Pearson Prentice Hall, 948 pags.
- Neri Vela, Rodolfo. Comunicaciones Por Satélite, Editorial Thompson, 526 páginas.
- Perez Vega, Constantino. Introducción a los Sistemas de Telecomunicación, depto de ingeniería de comunicaciones, universidad de Cantabria.
- Curso de Calculo de Enlace Via Satélite para Señales Moduladas Digitalmente en la Banda Ku.
- [www.satmex.com](http://www.satmex.com)