



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN TERRENA
SATELITAL PARA LA TRANSMISIÓN DE
INFORMACIÓN DIGITAL”**

MEMORIA DE DESEMPEÑO DE SERVICIO SOCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

JOVANY GARCÉS AYALA

ASESOR: ING. JOSÉ LUIS PÉREZ BÁEZ

BOSQUES DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

	ANTECEDENTES	1
<hr/>		
Capítulo 1	CONSIDERACIONES TEÓRICAS	2
	1.1. Introducción	2
	1.2. Modulación	2
	1.2.1. Modulación en amplitud (AM)	3
	1.2.2. Modulación en frecuencia (FM)	3
	1.2.3. Modulación en fase (PM)	5
	1.2.4. Modulación por llaveo de amplitud (ASK)	5
	1.2.5. Modulación por llaveo de frecuencia (FSK)	5
	1.2.6. Modulación por llaveo de fase (PSK)	6
	1.3. Demodulación	9
	1.3.1. Sincronización de portadora y de temporización	9
	1.4. Polarización de una antena	10
	1.4.1. Diagramas de propagación	11
	1.5. Los satélites de comunicaciones	12
	1.5.1. Órbitas satelitales	12
	1.6. Bandas de frecuencias	14
<hr/>		
Capítulo 2	TIPOS DE ESTACIONES TERRENAS	16
	2.1. Introducción	16
	2.2. Estación terrena transmisora (Tx)	16
	2.2.1. Módem	17
	2.2.2. Convertidor de subida	17
	2.2.3. Amplificador de alta potencia (HPA)	17
	2.2.4. Antena	18
	2.3. Estación terrena receptora (Rx)	18
	2.3.1. Antena	19
	2.3.2. Bloque amplificador de bajo ruido	19
	2.3.3. Módem	19
<hr/>		
Capítulo 3	DESCRIPCIÓN DE ENLACES DE TRANSMISIÓN SATELITAL	20
	3.1. Introducción	20
	3.2. Modelo de enlace	21
	3.3. El subsistema de comunicación y los transpondedores	22
<hr/>		
Capítulo 4	CÁLCULO DE ENLACE	26
	4.1. Introducción	26

4.2. Cálculos preliminares	27
4.2.1. Ancho de banda	27
4.2.2. Apuntamiento de antena y distancia E/T-Satélite	28
4.3. Enlace ascendente	29
4.3.1. Relación portadora a densidad de ruido ascendente	30
4.3.2. Relación portadora a ruido ascendente	30
4.3.3. Relación portadora a ruido ascendente total	30
4.4. Enlace descendente	31
4.4.1. Relación portadora a densidad de ruido descendente	32
4.4.2. Relación portadora a ruido descendente	32
4.4.3. Relación portadora a ruido descendente total	33
4.5. Evaluación de enlace	33
4.5.1. Relación portadora a ruido total	33
4.5.2. Relación portadora a ruido requerido	33
4.5.3. Margen de enlace	33
4.5.4. Porcentaje de potencia consumida por la portadora del satélite	34
4.5.5. Cálculo de la potencia consumida en el HPA	34
4.6. Ejemplo	35
4.6.1. Cálculos Preliminares	36
4.6.2. Enlace ascendente	38
4.6.3. Enlace descendente	39
4.6.4. Evaluación de enlace	40
<hr/>	
Capítulo 5	INSTALACIÓN DE UNA ANTENA
5.1. Introducción	42
5.2. Datos para la orientación de una antena	42
5.3. Dispositivos a utilizar para la orientación de una antena	43
5.4. Apuntamiento de una antena receptora y Transmisora	44
<hr/>	
Capítulo 6	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN
6.1. Introducción	52
6.2. Evaluación económica	52
<hr/>	
Capítulo 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
7.1. Introducción	54
7.2. Conclusiones	54
7.3. Recomendaciones	55
<hr/>	
	APÉNDICE
A.1. Parámetros de operación en banda C (Transpondedores angostos)	57
	58

A.2. Parámetros de operación en banda C (Transpondedores amplios)	58
A.3. Parámetros de operación en banda Ku	59
A.4. Tabla de la flota satelital Norte y Sur América	60
A.5. Tabla de parámetros satelitales	61

GLOSARIO	62
-----------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA	68
---------------------	-----------

ANTECEDENTES

Las comunicaciones digitales son una tecnología que está en constante crecimiento. Las instalaciones de estaciones terrenas satelitales ya sean para transmitir o recibir información digital se usan en una gran cantidad de nuevos proyectos para el funcionamiento correcto de los mismos. Este uso expansivo de las comunicaciones digitales es el resultado de la eficiencia que ha generado el uso de esta tecnología.

La instalación de las estaciones terrenas satelitales en específico tienen una importancia muy relevante en los servicios de las comunicaciones digitales, para esto las empresas hacen uso constante de estos servicios para llevar a cabo transmisiones y recepciones de conferencias, programas de televisión, programas de radio, internet, datos, etc. Para estos servicios hay diferentes tipos de estaciones terrenas, unas son las que transmiten la información al satélite, otras las que sólo reciben la información y las transceptoras que reciben y transmiten al mismo tiempo.

Las estaciones terrenas satelitales tienen un papel muy importante en las comunicaciones digitales ya que son el motor para todos los enlaces de satélites en todo el mundo, es por eso que los seres humanos están comunicados en su totalidad con los diversos servicios que ofrecen las comunicaciones.

Para los servicios de las estaciones terrenas existen organismos que ofrecen rentas de este servicio ya que para las empresas no es viable adquirir el equipo por causa de costos elevados de los dispositivos usados. Por lo que organismos como Telecomunicaciones de México (Telecomm) ofrecen distintos servicios de enlace satelital para las empresas en diversos puntos de la república mexicana y el extranjero.

La Instalación de una Estación Terrena Satelital para la Transmisión de Información Digital, es un trabajo que abarca los principios más básicos para la comprensión de lo que es una estación terrena satelital y todo lo que conlleva el proceso de instalación de antenas parabólicas de tipo foco centrado y offset.

Capítulo 1

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

1.1. INTRODUCCIÓN

En la instalación de las estaciones terrenas satelitales por lo general son usados diversos términos en el ámbito de las comunicaciones digitales, de los cuales uno de los más mencionados es la Modulación. Ésta se deriva en diversos tipos como AM que es usada comúnmente en radio, FM que es usada en las radiofrecuencias de alta frecuencia por la mejor calidad y las modulaciones BPSK y QPSK. De este mismo modo es usado el término de Demodulación, proceso que separa las señales provenientes de la estación transmisora, para que se puedan procesar en las estaciones terrenas receptoras.

1.2. MODULACIÓN

La modulación es un proceso que consiste en combinar una señal que representa los datos (moduladora) con otra (portadora), observar la figura 1.1. La señal obtenida (señal moduladora) es susceptible de ser transmitida por un medio por el que, en un principio, no se podría hacer. En definitiva, la modulación permite la adaptación de una señal a un medio de transmisión, siendo una tecnología muy fuerte en telecomunicaciones, se aplica en radio, en televisión y en informática.

La técnica de modulación permite hacer viajar algunas informaciones por sitios por donde no viajarían en condiciones normales. El objeto de la transmisión se denomina señal moduladora y a, lo que le permite viajar es la señal portadora.

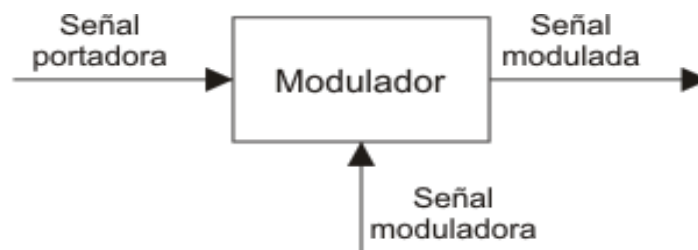


Figura 1.1. Esquema básico de modulación

En el contexto de los sistemas de comunicación, es posible identificar algunos de los beneficios prácticos del uso de la modulación:

- 1.- Para acoplar la información al canal de comunicación.
- 2.- Para la utilización razonada de antenas de transmisión y recepción.
- 3.- Para permitir el uso de multiplexaje.

- 4.- Para ordenar el radioespectro, distribuyendo canales de información distinta.
- 5.- Para optimizar el ancho de banda de cada canal.
- 6.- Para evitar interferencias entre canales.
- 7.- Para proteger las señales de las degradaciones de ruido.
- 8.- Para definir la calidad de la información transmitida.

Las técnicas de modulación en el mundo analógico y digital, son:

- Modulación de amplitud.
- Modulación de frecuencia.
- Modulación de fase.

Se puede caracterizar una onda, por un instante dado, por su frecuencia (hercios), amplitud (voltios) y fase (grados respecto a un origen de tiempos); por tanto, estos parámetros son los únicos que se pueden variar para que se incorpore la información que debe transmitir la onda portadora.

La portadora es una onda senoidal caracterizada por su amplitud (A), frecuencia (f) y fase (\emptyset), según la siguiente relación.

$$F(t)=A \cos(2\pi ft+\emptyset)$$

1.2.1. Modulación en amplitud (AM)

Es un tipo de modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora, de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir, este proceso puede observarse más claramente en la figura 1.2.

Una gran ventaja de AM es que su demodulación es muy simple y, por consiguiente, los receptores son sencillos y baratos. La AM es usada en la radiofonía, en las ondas medias, ondas cortas, e incluso en la VHF: es utilizada en las comunicaciones radiales entre los aviones y las torres de control de los aeropuertos. La llamada “Onda Media” (capaz de ser captada por la mayoría de los receptores de uso domestico) abarca un rango de frecuencia que va desde 550 a 1600 KHz.

1.2.2. Modulación en frecuencia (FM)

Es una modulación angular que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia como se puede ver en la figura 1.3. En aplicaciones analógicas, la frecuencia instantánea de la señal modulada es proporcional al valor instantáneo de la señal moduladora.

La frecuencia modulada es usada comúnmente en las radiofrecuencias de muy alta frecuencia por la alta fidelidad de la radiodifusión de la música y voz. El audio de la televisión analógica también es difundido por medio de FM.

La modulación en frecuencia encuentra aplicación en gran cantidad de sistemas de comunicación. En la de radiodifusión de estaciones de radio, abarca las frecuencias que van de 88 a 108 MHz, la separación entre las estaciones de radio es de 200KHz y la desviación de frecuencia es $\Delta f=75\text{KHz}$. De manera cuando se está escuchando una estación de radio en frecuencia modulada, lo que se recibe no es 92.7 MHz, se está recibiendo una frecuencia que esta variando. El estándar es que puede variar 75 KHz hacia abajo y 75 KHz hacia arriba. Es decir, se oye algo que está entre 92.775 MHz y 92.625 MHz, esto es, el margen de frecuencias que transmite la emisora de radio.

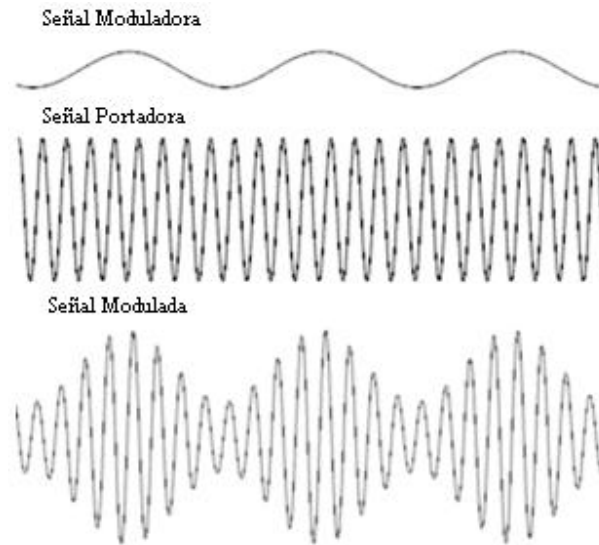


Figura 1.2. Modulación en amplitud

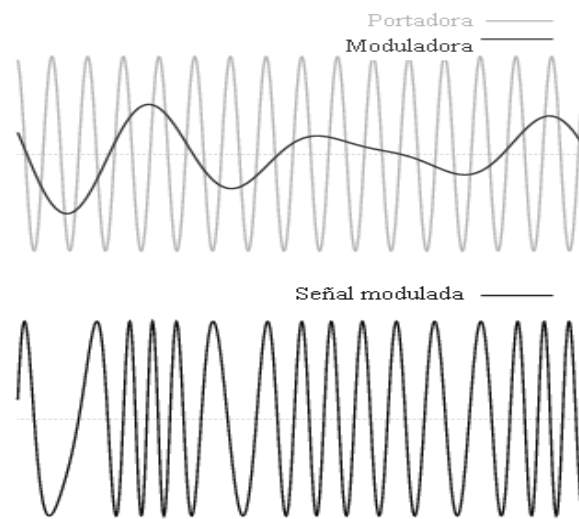


Figura 1.3. Modulación en frecuencia

1.2.3. Modulación en fase (PM)

Es el caso de modulación donde tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas. Es un tipo de modulación exponencial al igual que la modulación de frecuencia. Se caracteriza porque la fase de la onda portadora varía directamente de acuerdo con la señal moduladora, resultando una señal de modulación en fase (ver figura 1.4.).

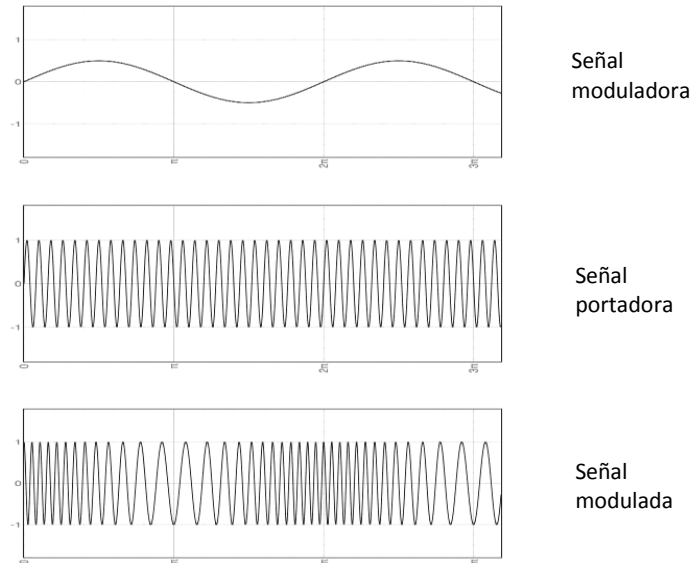


Figura 1.4. Modulación en fase

1.2.4. Modulación por llaveo de amplitud (ASK)

Es una forma de modulación en donde se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la, observar este proceso en la figura 1.5.

La amplitud de una señal portadora análoga varía conforme a la corriente de bit (modulando la señal), manteniendo la frecuencia y la fase constante. El nivel de amplitud puede ser usado para representar los valores binarios 0's y 1's. Podemos pensar en la señal portadora como un interruptor (encendido/apagado). En la señal modulada, el valor lógico 0 es representado por la ausencia de una portadora, así que da encendido/apagado la operación de pulsación y de ahí el nombre dado.

Es utilizada en multitud de sistemas de transmisión de televisión, microondas, satélite (datos a alta velocidad por canales con ancho de banda restringido) y también se utiliza en los módems de alta velocidad que van de los 2400 bps.

1.2.5. Modulación por llaveo de frecuencia (FSK)

Es un tipo de modulación de frecuencia cuya señal moduladora es un flujo de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados.

En los sistemas de modulación por llaveo de frecuencia, la señal moduladora hace variar la frecuencia de la portadora, de modo que la señal modulada resultante codifica la información asociándola a valores de frecuencia diferentes, como ve en la figura 1.6.

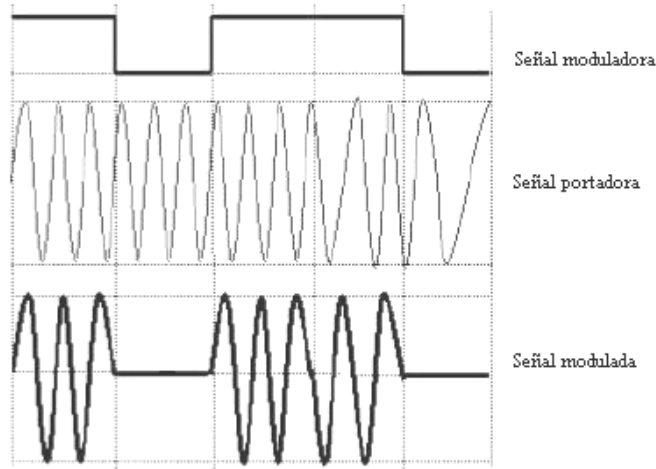


Figura 1.5. Modulación por llaveo de amplitud

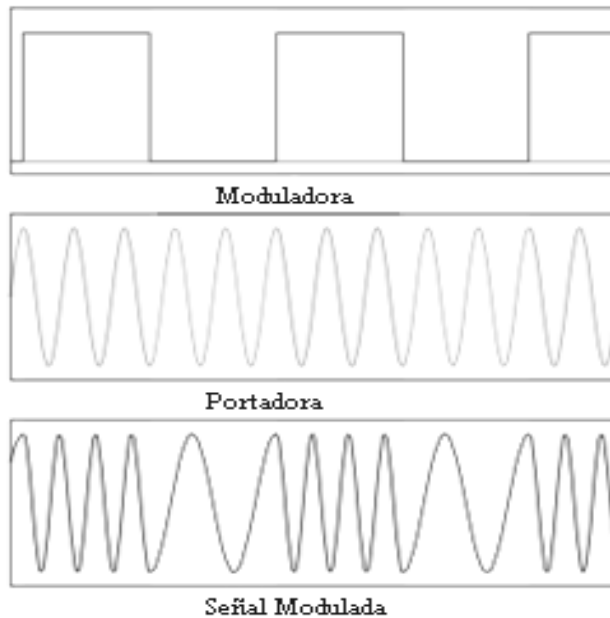


Figura 1.6. Modulación por llaveo de frecuencia

1.2.6. Modulación por llaveo de fase (PSK)

La modulación PSK se caracteriza porque la fase de la portadora representa cada símbolo de información de la moduladora, con un valor angular que el modulador elige entre un conjunto discreto de "n" valores posibles, también se denomina "por desplazamiento"

debido a los saltos bruscos que la moduladora digital provoca en los correspondientes parámetros de la portadora.

En la figura 1.7., se representa el cambio de fase por cada cambio de estado de la información digital.

Un modulador PSK representa directamente la información mediante el valor absoluto de la fase de la señal modulada, valor que el demodulador obtiene al comparar la fase de esta con la fase de la portadora sin modular.

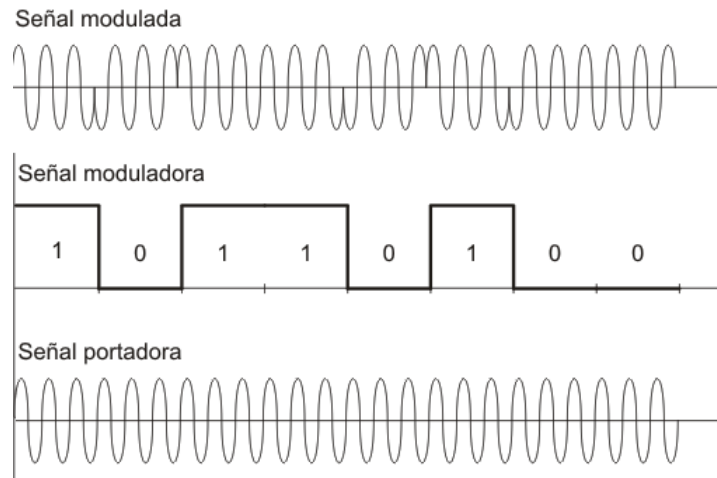


Figura 1.7. Modulación por llaveo de fase

En este tipo de modulación se divide en dos que son la modulación BPSK y QPSK, a continuación explicaremos de manera breve estas modulaciones.

La modulación PSK, como se ha dicho, consiste en variar la fase de la portadora en función de la señal de datos. En realidad, la modulación PSK no es muy utilizada, sin embargo, de ella se han derivado otros esquemas de modulación más complejos que sí se encuentran muy extendidos. La modulación PSK más sencilla es la BPSK (modulación por llaveo de fase en bipolar), en la que únicamente existen dos símbolos posibles (figura 1.8.)

Esta modulación servirá para introducir un concepto útil “constelación”, que es el conjunto de símbolos que representan la información. Esta constelación se puede representar gráficamente en unos ejes de coordenadas, tal como se ha hecho en la modulación BPSK

En este tipo de modulación la señal transmitida en una onda senoidal de amplitud fija A , tiene una fase fija cuando la señal es un 1 y una fase de 180° diferente cuando la señal es 0.

$$\begin{aligned} V_{\text{BPSK}}(t) &= A \cos(\omega_0 t) && \text{Cuando la señal es 0} \\ V_{\text{BPSK}}(t) &= -A \cos(\omega_0 t) && \text{Cuando la señal es 1} \end{aligned}$$

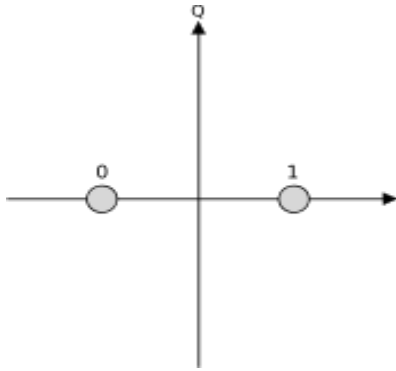


Figura 1.8. Constelación BPSK. Esta modulación transmite cada bit individualmente

Otro tipo de modulación en fase es la QPSK (modulación por llaveo de fase en cuadratura), cuya constelación puede verse en la figura 1.9. Su característica principal es la alta utilización del ancho de banda (eficiencia espectral) y su capacidad para aumentar la velocidad de transmisión gracias a que emplea más bits para codificar los símbolos. Sin embargo, el precio a pagar es que cuanto mayor sea la velocidad, tanto mayor será la susceptibilidad al ruido.

En esta forma de modulación genera una secuencia de símbolos, en lugar de una secuencia de bits, esto es, además de la fase se usan las señales de cuadratura $sen(t)$ y $cos(t)$, para la modulación. El cambio de fase que se provoca y las señales de cuadratura nos proporcionan la posibilidad de tener cuatro combinaciones de salida. La salida $sen(t)$ con cambios de fase de $\pm 180^\circ$ y la salida $cos(t)$ con cambios de fase de $\pm 180^\circ$; estos cuatro valores de salida dan como resultado los números binarios 00, 01, 10, y 11.

En este tipo de modulación los cambios de fase son cada 90° y la señal puede tomar uno de los cuatro ángulos de fase posibles en cuadratura, cada uno corresponde a una condición de entrada de datos en particular. La modulación QPSK comparado con el BPSK ofrece el doble de bits de información por portadora de cambio de fase y encuentra amplia aplicación en sistemas de transmisión de datos de alta velocidad.

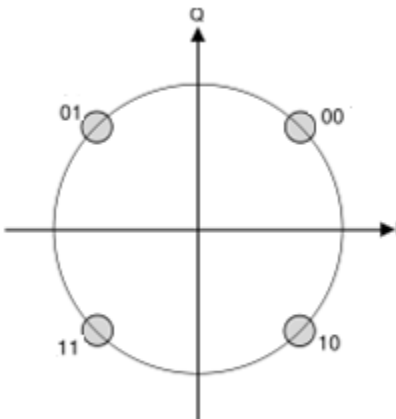


Figura 1.9. Constelación QPSK

1.3. DEMODULACIÓN

La demodulación en general engloba al conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una onda portadora, que en el extremo del transmisor había sido modulada con alguna información. Este término es el opuesto a modulación, ya que su función principal es obtener la señal de información original que se envió en el transmisor.

Esencialmente hay dos métodos comunes de demodulación o detección de señales moduladas con portadora sinusoidal:

1. La “Demodulación Sincrónica o Coherente”
2. La “Detección de Envolvente”

La demodulación o detección sincrónica o coherente consiste simplemente en multiplicar la señal modulada recibida por la portadora, generada localmente y mediante un filtrado pasabajo se obtiene la señal original portadora de información.

Es necesario que la frecuencia y la fase de la portadora local en el receptor sean idénticas a las de la portadora en el transmisor. Si la frecuencia y la fase son diferentes, se produce una fuerte atenuación que puede hacer desaparecer el mensaje. Para evitar esta atenuación se utiliza dispositivos de sincronización en el receptor a fin de lograr la coherencia entre las dos portadoras.

La demodulación por detección de envolvente evita los problemas de sincronización de fase y de frecuencia de la detección coherente; sin embargo, la detección de envolvente no se puede aplicar en sistemas de modulación de fase, porque el proceso de detección de envolvente elimina la fase de la señal. Como su nombre lo indica, la salida del detector representa la envolvente positiva (o negativa, según la polaridad del diodo) de la señal de entrada. La constante de tiempo RC debe ser entonces lo suficientemente grande para seguir los picos de la señal de entrada, pero lo suficientemente pequeña comparada con un período de la señal binaria.

1.3.1. Sincronización de portadora y de temporización

La demodulación coherente de las señales ASK, FSK y PSK requiere el conocimiento de la frecuencia y la fase exactas de la portadora. La frecuencia puede aproximarse tanto como se quiera, de modo que con osciladores a cristal de gran precisión se puede mantener la frecuencia con una gran estabilidad; sin embargo, el desfase entre los osciladores del transmisor y del receptor puede ser grande, sobre todo cuando los módems inician una transmisión. En estos casos los módems están desfasados y necesitan un período inicial, antes de transmitir información, para sincronizar sus osciladores; esto se lleva a cabo mediante la transmisión de secuencias de sincronización conocidas (“training sequences”). Este período se conoce con el nombre de “tiempo o fase de adquisición”. Al finalizar la fase de adquisición los osciladores quedan “enganchados” en fase y en frecuencia, y la transmisión de información puede comenzar. Durante la transmisión es necesario mantener

el desfase entre los osciladores dentro de ciertos límites específicos; esta operación se conoce como la “fase de seguimiento o de rastreo”.

El receptor debe poseer entonces dispositivos de sincronización tanto de portadora como de temporización. En efecto, hay que tener en cuenta que los intervalos de reloj también necesitan sincronización para poder detectar la presencia o ausencia de impulsos recibidos ya demodulados. En consecuencia, en el receptor no solamente se efectúa la sincronización de fase y de frecuencia, sino también la sincronización de señalización o de temporización.

En un sistema de transmisión digital a menudo se necesita diferentes niveles de sincronización. Por ejemplo, consideremos un sistema PSK; en este caso son necesarios cuatro niveles de sincronización: sincronización de trama, sincronización de canal, sincronización de dígitos y sincronización de portadora. La localización típica de los sincronizadores de portadora y de temporización se muestra en la siguiente figura 1.10a.

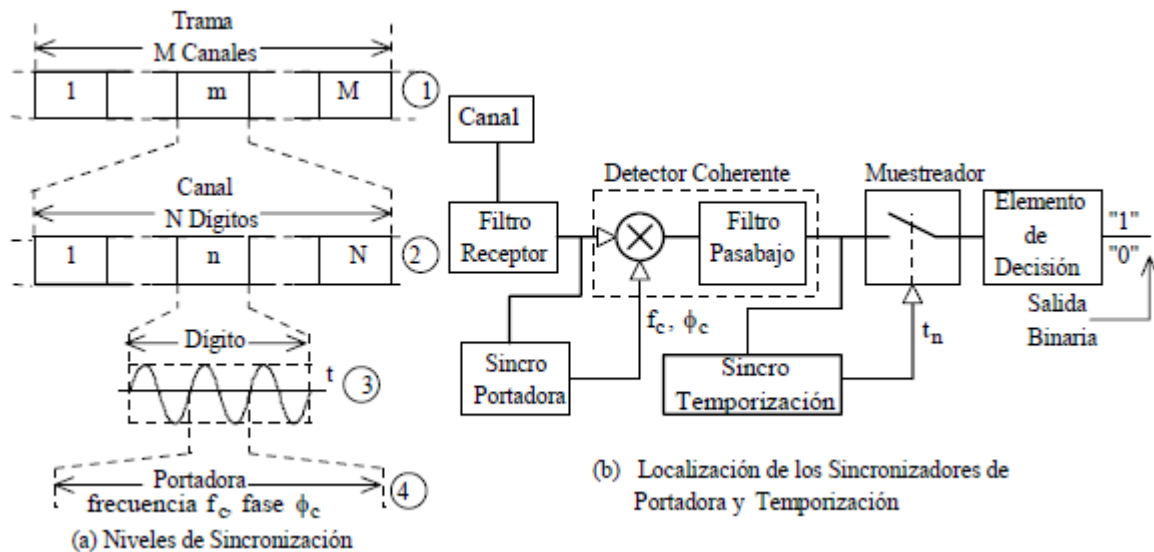


Figura 1.10. Sincronización de portadora y temporización

En cuanto a la temporización, el proceso de extracción de la temporización se efectúa operando sobre la señal demodulada. La salida del sincronizador de temporización será una señal periódica (señal de reloj) de período y con una fase tal que indique los instantes de muestreo dentro de cada intervalo de duración como se muestra en la figura 1.10b.

1.4. POLARIZACIÓN DE UNA ANTENA

La orientación de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que irradia de ella. Una antena puede estar polarizada linealmente (en general, horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de una antena están en un plano horizontal o en uno vertical), elípticamente o circularmente. Si una antena irradia una onda electromagnética verticalmente polarizada, se define a la antena verticalmente polarizada (o polarizada verticalmente). Si una antena irradia una onda electromagnética horizontalmente polarizada, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el

campo eléctrico gira describiendo un elipse, está elípticamente polarizada; si el campo gira en forma circular, está circularmente polarizada.

La figura 1.11 muestra las diversas polarizaciones que se acaban de describir.

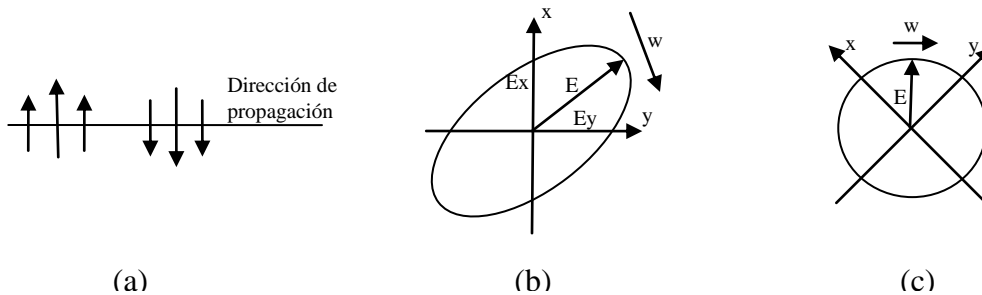


Figura 1.11. Polarizaciones de antena: (a) lineal, (b) elíptica, (c) circular

La polarización puede ser definida como la dirección de la oscilación del vector campo eléctrico.

1.4.1. Diagramas de propagación

La morfología del diagrama de radiación va a determinar el tipo de antena de que se trata. Así, tendremos antenas omnidireccionales si radian de la misma manera en todas las direcciones o antenas direccionales si radian más en una dirección que en otras.

En la mayoría de los casos la característica de propagación de una antena puede ser descrita por intermedio de elevaciones a través de los diagramas de radiación horizontal y vertical (figura 1.12).

En comunicaciones móviles esto es definido por los componentes del campo magnético y de las componentes del campo eléctrico.

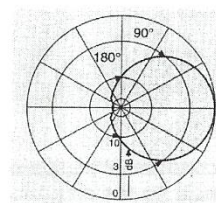


Diagrama Horizontal

Plano Horizontal (H)

Observando de arriba, la distribución de la energía de una antena direccional tipo panel.

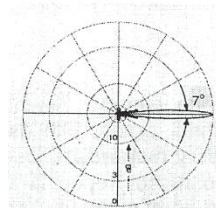


Diagrama Vertical

Plano Vertical (E)

Observando de lado, y haciéndose un corte, la energía se distribuye de esta forma.

Figura 1.12. Diagramas de propagación: horizontal y vertical

Para tener una idea de cómo se distribuye la energía de una antena en el espacio es necesario juntar los dos diagramas (vertical y horizontal) e imaginar un modelo tridimensional (figura 1.13).

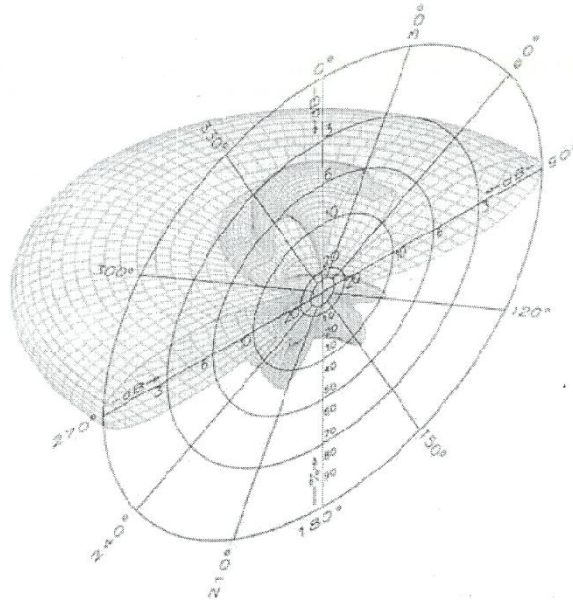


Figura 1.13. Diagrama tridimensional

1.5. LOS SATÉLITES DE COMUNICACIONES

Los satélites de comunicaciones son unos complejos sistemas repetidores de la señal, situados a gran distancia de la tierra, desde los que se cubre una gran zona o incluso un continente. La transmisión se origina en un sólo punto; desde una estación terrestre se envía hacia el satélite, que actúa como repetidor, reenviando la señal recibida desde múltiples estaciones. Debido al largo camino que recorre la señal, existe un retardo entre el momento de emisión y recepción (típicamente de 240 milisegundos, que es el tiempo que tarda la señal entre ir y volver, a la velocidad de la luz). Esto no influye en las transmisiones en un solo sentido, tales como radio y televisión, pero sí lo hace en las bidireccionales, como pueden ser las conversaciones telefónicas y la transmisión de datos, empleándose, eliminadores de eco para evitar sus efectos.

1.5.1. Órbitas satelitales

De la órbita a la que se sitúe el satélite dependerá, en cierta manera, el tipo de servicio prestado y el tamaño necesario de la antena para poder captar la señal con suficiente intensidad. La clasificación de los sistemas satélites en función de la órbita en que se ubican, de menos a más cerca de la tierra, (figura 1.14) es la siguiente:

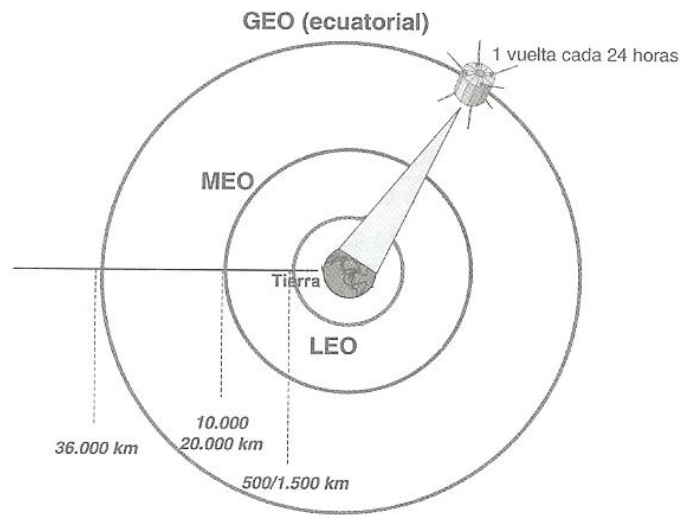


Figura 1.14. Órbitas para situar los satélites

GEO

Abreviatura de Órbita Terrestre Geosíncrona. Los satélites GEO orbitan a 36,000 kilómetros sobre el plano del ecuador terrestre. A esta altitud, el periodo de rotación del satélite es exactamente 24 horas y, por tanto, parece estar siempre sobre el mismo lugar de la superficie del planeta.

MEO

Los satélites de órbita terrestre media se encuentran a una altura comprendida entre los 10,000 y 20,000 kilómetros. A diferencia de los GEO, su posición relativa respecto a la superficie terrestre no es fija, sino que se van desplazando a gran velocidad y dan varias vueltas al cabo del día. Al estar a una altitud menor, se necesita un número mayor de satélites para obtener cobertura mundial, pero la latencia (retardo de la señal debido a la propagación por el camino recorrido) se reduce substancialmente.

En la actualidad no existen muchos satélites MEO, la mayoría se utilizan para posicionamiento y navegación GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

LEO

Las órbitas satelitales de baja altura prometen un ancho de banda extraordinario y una latencia reducida (unas pocas centésimas de segundo). Los LEO orbitan generalmente por debajo de los 5,000 kilómetros, la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 500 y los 1,600 kilómetros.

Existen tres tipos de LEO, que ofrecen diferentes cantidades de ancho de banda (de decenas de centenares de kbit/s), como los servicios de buscapersonas. Los grandes LEO

pueden manejar buscapersonas, servicios de telefonía móvil y algo de transmisión de datos (de cientos a miles de kbit/s). Los LEO de banda ancha (denominados mega LEO) operan en la franja de los Mbit/s.

La vida útil de un satélite depende de la órbita a la que se encuentre situado: cuanto más alta, mayor será, con un promedio de entre 10 y 15 años para los GEO y de unos 5 para los LEO.

La ventaja de los satélites es que permiten una cobertura global, con una inversión inicial reducida comparada con la de otras tecnologías. Esto les permite alcanzar su equilibrio económico con una menor cuota de mercado. Sin embargo, la atenuación del camino de comunicaciones hace que se requiera una mayor potencia de emisión, tanto en el satélite como en la terminal del usuario, lo que hace a éstos más grandes al tener que llevar circuitería más potente; lo que los hace más pesados y caros que los que se necesitan en servicios similares terrestres.

1.6. BANDAS DE FRECUENCIAS

Los organismos FCC (Federal Communication Commission) e UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se encargan de gestionar el espectro. Las bandas de frecuencia utilizadas comúnmente en las comunicaciones por satélite comerciales son la banda C y la banda Ku (figura 1.15).

La banda C se refiere al margen 5.9 – 6.4 GHz para el canal ascendente y 3.7 – 4.2 para el descendente. La banda C proporciona transmisiones de más baja potencia que la Ku pero de más cobertura geográfica, con un plato de la antena receptora más grande, del orden de 3 metros, aunque también con un mayor margen de error de apuntamiento.

La banda Ku utiliza el margen 14 – 14.5 GHz para al canal ascendente y 11.7 – 12.2 GHz para el descendente. Esta banda proporciona más potencia que la C y, en consecuencia, el plato de la antena receptora puede ser más pequeño, del orden de 1.22 metros de diámetro aproximadamente, pero la cobertura es menor.

La elección entre una u otra banda viene dada en función del análisis del propósito final de la transmisión y del tipo de mercado al que se desea llegar. En este sentido, la banda C está más orientada a los usuarios de los servicios residenciales, para llegar a antenas domésticas. Esta banda es vulnerable a las interferencias terrestres, especialmente en áreas urbanas.

Banda	Descendente (GHz)	Ascendente (GHz)	Características
C	3.7 – 4.2	5.9 – 6.4	Interferencias con enlaces terrestres
Ku	11.7 – 12.2	14 – 14.5	Atenuación por lluvias
Ka	17.7 – 21.7	27.5 – 30.5	Coste de equipo elevado
L/S	1.6 – 1.6	2.4 – 2.5	Interferencias con las bandas

Figura 1.15. Características de algunas bandas de frecuencias satelitales

Existe actualmente una banda de frecuencias emergente en el sector civil que proviene del ámbito militar. Se trata de la banda Ka, que opera entre 27 y 31 GHz, con la que se espera paliar la creciente saturación de las bandas C y Ku.

Cuando las zonas donde se va a recibir las señales están controladas por una determinada entidad, como es el caso de una red corporativa, se utiliza normalmente la banda Ku; debido a su elevada potencia puede utilizar antenas más pequeñas, más baratas y más fáciles de instalar, lo que hace que esta banda sea especialmente utilizada en el sector empresarial. Además, a la banda Ku no le afectan las interferencias terrestres, pero sí las condiciones meteorológicas (lluvia, niebla, etc.), que producen distorsiones y ruido en la transmisión. Esto se puede solucionar mediante la utilización de antenas más grandes o aumentando la potencia de emisión, pero ello resulta en un precio más elevado.

Capítulo 2

TIPOS DE ESTACIONES TERRENAS

2.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones digitales dependen estrictamente del uso de estaciones terrenas ya sea transmisora (Tx) o Receptora (Rx) para el funcionamiento correcto de diversas actividades que dependen esencialmente de los satélites, para esto es necesario comprender el funcionamiento de las estaciones terrenas y su utilidad que los organismos particulares le dan.

2.2. ESTACIÓN TERRENA TRANSMISORA (Tx)

Se denomina segmento terrestre a la infraestructura en tierra necesaria para la comunicación vía satélite, el segmento terrestre se refiere genéricamente a las estaciones terrenas. Una estación terrena transmisora como se ilustra en la figura 2.1 se conforma básicamente por una antena de reflector parabólico, un amplificador de alta potencia (HPA), un convertidor de subida y de uno o varios módems.

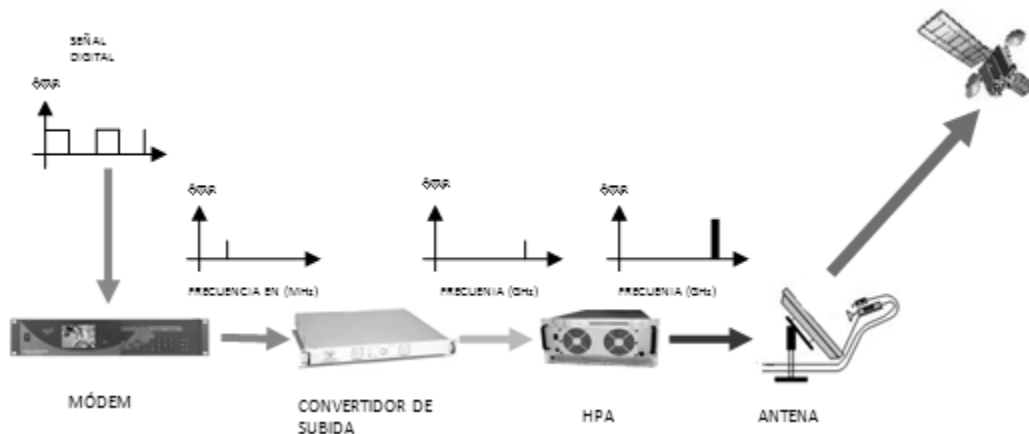


Figura 2.1. Diagrama a bloques de una estación terrena transmisora

Cuando se transmite una señal de información digital vía satélite, típicamente se inicia con un proceso de modulación en los módem, posteriormente se incrementa la frecuencia (cantidad de ciclos generados en un unidad de tiempo) de la señal modulada a través de los convertidores de subida, posteriormente se incrementa la potencia de la señal con los amplificadores de alta potencia, para que finalmente la señal modulada e incrementada en frecuencia y potencia sea radiada en dirección al satélite por la antena transmisora. Los equipos de interés en la cadena de transmisión son los siguientes:

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

2.2.1. Módem

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

Previo a la modulación, también dentro del módem, se agrega a la señal de información, una serie de bits (FEC) ,que responden a un código, a fin de identificar y corregir algunos errores en la detección de la información en que se dará en la recepción.

En la entrada de los módem la señal digital tiene una característica de velocidad digital dada en bits por segundo; esta velocidad está estandarizada en velocidades que van desde los 4.8 Kbps hasta los 70 Mbps y aún mayores.

2.2.2. Convertidor de subida

El convertidor de subida es el equipo que eleva la frecuencia de la señal modulada desde el rango de frecuencia intermedia hasta el de radiofrecuencia ya sea para hacer una transmisión en banda C o en Ku, este dispositivo electrónico tiene un papel importante, ya que es, en donde se lleva a cabo la configuración para determinar el tipo de radiofrecuencia a utilizar para la transmisión.

2.2.3. Amplificador de alta potencia (HPA)

El amplificador 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. En la actualidad existen tres tipos principales de amplificadores de alta potencia, los tubos de onda progresiva (TWT), Los amplificadores de estado sólido (SSPA) y los Klystron, sea cual sea el tipo del amplificador la función termina siendo la misma.

El amplificador TWT alcanza potencias hasta de 2.5 KW pero con un ancho de banda de 500 MHz, el amplificador SSPA maneja potencias hasta de 1 KW con un ancho de banda de 500 MHz y el amplificador Klystron es el que puede generar mayor potencia (hasta 5 KW), pero su ancho de banda generalmente es menor a 80 MHz.

2.2.4. Antena

La antena es la encargada de radiar la energía de la señal en dirección al satélite. Las antenas utilizadas son de reflector parabólico que proporcionan ganancia y una directividad extremadamente alta. Los materiales con los que están fabricadas las antenas son variables, pueden ser, de metal, fibra de vidrio y de malla metálica. De las cuales se clasifican en dos tipos: de reflector único y reflector doble; en base a la primera se encuentran las antenas parabólicas de alimentación frontal, offset y toroidal; con respecto a la segunda se encuentran las antenas cassegrain y Gregory.

- La antena parabólica de foco centrado o primario, que se caracteriza por tener el reflector parabólico centrado respecto del foco
- La antena parabólica de foco desplazado u offset, que se caracteriza por tener el reflector parabólico desplazado respecto del foco. Son más eficientes que las parabólicas de foco centrado, porque el alimentador no hace sombra sobre la superficie reflectora.
- La antena parabólica cassegrain, que se caracteriza por llevar un segundo reflector cerca de su foco, el cual refleja la onda radiada desde el dispositivo radiante hacia el reflector en las antenas transmisoras, o refleja la onda recibida desde el reflector hacia el dispositivo detector en las antenas receptoras.

2.3. ESTACIÓN TERRENA RECEPTORA (Rx)

Después de haber sido retransmitida la señal por el satélite, la señal de interés, será recuperada por la estación terrena receptora. En términos generales la estación receptora capta de su antena la señal proveniente del espacio, la amplifica, disminuye su frecuencia y la demodula como se observa en la figura 2.2.

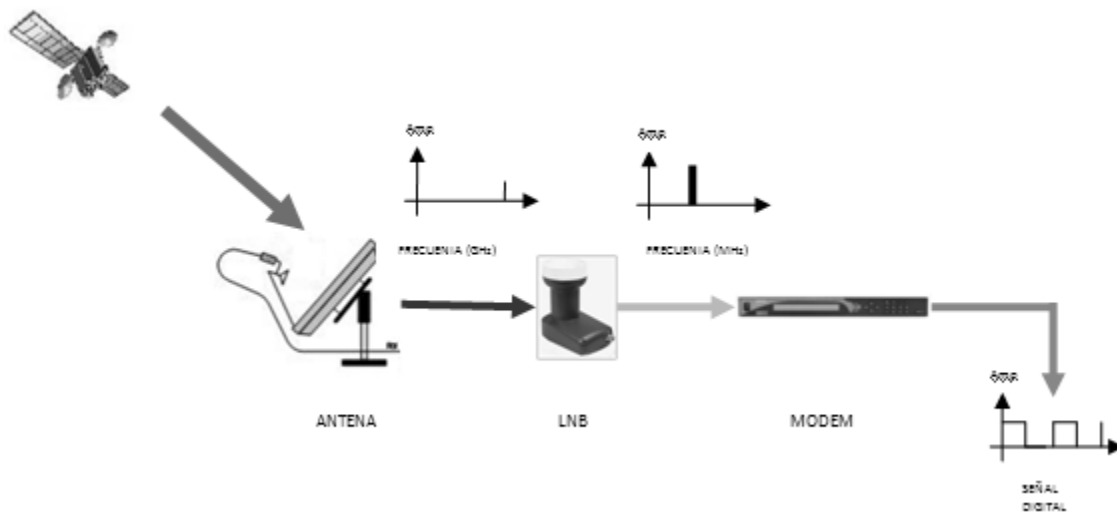


Figura 2.2. Diagrama a bloques de una estación terrena receptora

2.3.1. Antena

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 bloque amplificador de bajo ruido (LNB).

Las características relevantes de la antena en recepción son su ganancia y su temperatura de ruido.

Las antenas utilizadas en éstas 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.

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 de la estación terrena como 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.

2.3.2. Bloque amplificador de bajo ruido

El bloque amplificador de bajo ruido (LNB) es el dispositivo encargado de amplificar a la débil señal recibida por la antena de la E/T y disminuye la frecuencia desde los niveles de radiofrecuencia hasta los de frecuencia intermedia. 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, 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.

2.3.3. Módem

Una vez que la señal está en el rango de frecuencia intermedia, llega al módem (receptor) en su etapa demoduladora, que se encarga de proporcionar la información en la banda base. La señal se demodula y se verifica la información corrigiéndose en base al algoritmo del FEC y de esta manera recuperar la señal original.

Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DE ENLACES DE TRANSMISIÓN SATELITAL

3.1. INTRODUCCIÓN

El procesamiento de la señal de comunicación en el satélite a grandes rasgos es el siguiente:

- 1.- Amplificación de potencia.
- 2.- Conversión de frecuencia.
- 3.- Cambio de polarización.

La amplificación se realiza por medio del amplificador de alta potencia, el cual proporciona la potencia para el enlace de bajada, es decir, para la comunicación entre el satélite_{Tx} y la E/T_{Rx}; los amplificadores de satélite son tubos de onda progresiva (TWT) y amplificadores de estado sólido (SSPA). Cada amplificador está asociado con su transpondedor.

En la figura 3.1 se muestra como es físicamente un satélite de comunicaciones, hay que aclarar que existes diversos modelos y éstos varían de acuerdo a la tecnología para los se diseñaron.



Figura 3.1. Forma de un satélite de comunicaciones

La conversión en frecuencia se refiere a la modificación que se realiza sobre la señal de comunicación a su paso por el satélite; lo anterior se efectúa para que no se interfieran las señales que llegan al satélite con las que salen de él.

Para realizar el cambio de la polaridad, la señal a su salida del satélite se encausa a los alimentadores que tienen polaridad diferente a la que tuvo a su entrada al satélite. 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, ver figura 3.2.

Satmex 5 (116.8°W)

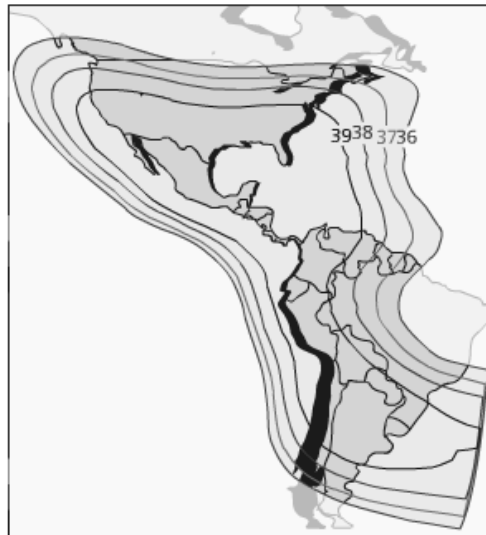


Figura 3.2. Zonas de cobertura del satélite Satmex 5

3.2. MODELO DE ENLACE

El sistema de comunicaciones vía satélite está formado básicamente por las estaciones terrenas y el satélite. El objetivo del sistema es permitir que las estaciones terrenas se comuniquen entre sí, utilizando al satélite como una estación repetidora cuando la distancia que separa a las estaciones terrenas es tan grande que no permite la comunicación directa, ver figura 3.3.

El término estación terrena es utilizado indistintamente para indicar todo tipo de terminal que se comunica desde la tierra con un satélite, sin importar si ésta ubicada en un punto fijo sobre la superficie de la tierra o está instalada en un avión, en un barco o en cualquier tipo de vehículo terrestre.

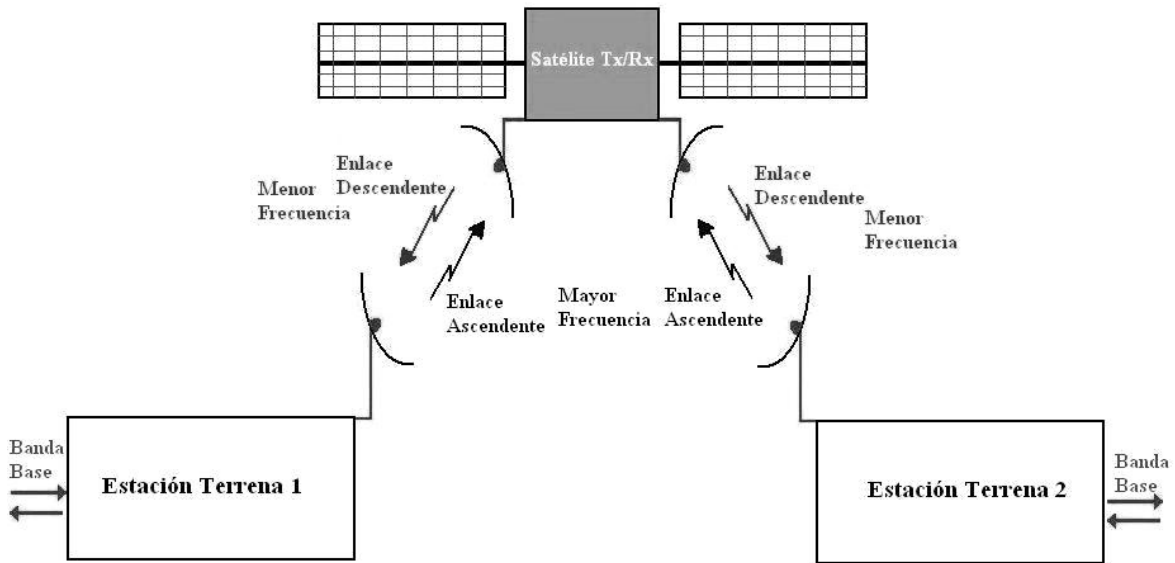


Figura 3.3. Modelo de comunicación vía satélite

En el caso de las comunicaciones satelitales móviles personales el término estación terrena es sustituido por el término Terminal Móvil o Terminal de Usuario, aunque los elementos que la componen son básicamente los mismos, por supuesto que las terminales móviles no utilizan antenas parabólicas o reflectoras.

Dependiendo de la aplicación en particular algunas de las estaciones son más sencillas o más complicadas.

3.3. EL SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN Y LOS TRANSPONEDORES

Las antenas del satélite se relacionan con el subsistema de comunicaciones mediante el diagrama mostrado en la figura 3.4. Todas las señales provenientes de la tierra con una determinada frecuencia dentro de cierta banda común entran al satélite por medio de la antena receptora.

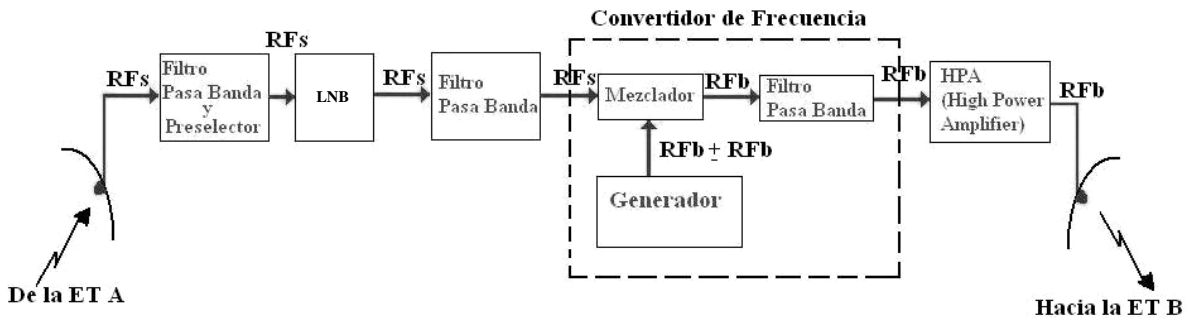


Figura 3.4. Modelo del transpondedor

En el interior del aparato las señales son separadas por grupos, amplificadas, tal vez procesadas digitalmente, y son trasladadas a frecuencias más bajas dentro del espectro electromagnético; posteriormente son amplificadas aun más y reagrupadas, para que todas salgan de regreso hacia la tierra a través de la antena transmisora. Aquí la palabra grupo se refiere a un canal de banda ancha; el número de grupos o canales de banda ancha que son amplificados y procesados en paralelo es variable, dependiendo del diseño del sistema.

Para evitar confusiones, a cada canal de banda ancha o de microondas se le conoce como transpondedor; así por ejemplo, un satélite típico tiene doce transpondedores para una determinada banda de trabajo (C, Ku, etc.) y polarización. Un transpondedor es toda la cadena de unidades o equipos interconectados en serie del canal de banda ancha, desde la antena receptora hasta la antena transmisora; algunas unidades o equipos, como el amplificador de bajo ruido o el demultiplexor de entrada, son comunes o compartidos entre todos los transpondedores, de modo que aunque se haga referencia a un determinado transpondedor, por decir, el octavo dentro de los doce, debe entenderse que se trata de todo un canal con varios equipos interconectados y no solamente de una pieza de equipo.

Los elementos del subsistema de comunicaciones de un satélite son básicamente los transpondedores. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos, desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de transpondedor. Por lo tanto, el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores y la cantidad de éstos depende del diseño del satélite. En realidad la cadena es más compleja de lo que se muestra en la figura 3.5, además, puede haber ligeras variantes en las etapas de amplificación y conversión de frecuencia.

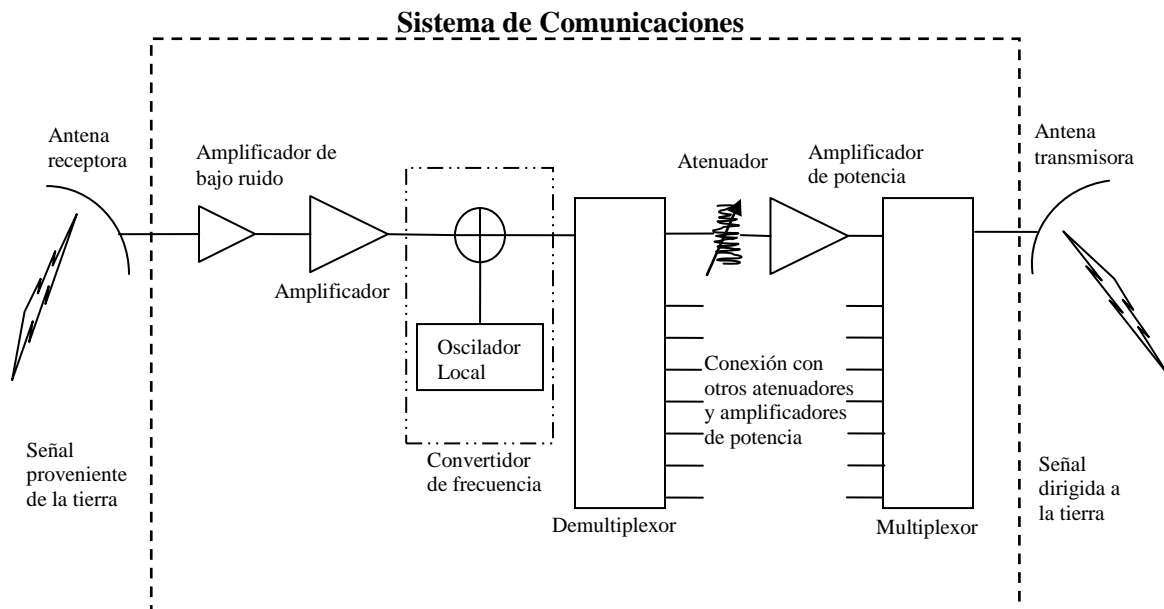


Figura 3.5. Relación entre los subsistemas de antenas

Las señales provenientes de la tierra tienen que entrar por la antena receptora, las señales pueden contener muchos canales de TV o miles de canales telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencias distintas. Cuanto mayor sea el ancho de banda del equipo, éste será más eficiente.

Un satélite puede tener varias antenas receptoras o tal vez sólo una, dependiendo de su diseño y aplicaciones, cada una de ellas debe ser capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales con información, los cuales serán posteriormente amplificados por separado en distintos transpondedores. Es decir, tanto las antenas receptoras, como las transmisoras tiene un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente en las bandas C y Ku.

Existen los denominados satélites híbridos que tienen el equipo necesario para trabajar en las dos bandas, C y Ku, esto duplica la capacidad en el número de canales que puede manejar el sistema al mismo tiempo; por lo general, estos satélites híbridos aplican la reutilización de frecuencias, lo cual aumenta aún más su potencial de manejo de tráfico.

Los transpondedores realizan las mismas funciones que los repetidores de los sistemas de relevadores eléctricos; reciben transmisiones de la tierra y después de efectuar la amplificación y transposición de frecuencia las devuelven a la tierra. Las antenas asociadas con estos transpondedores están diseñadas especialmente a fin de proporcionar cobertura a las regiones de la tierra comprendidas dentro de la zona de servicio del sistema de satélites.

El satélite de telecomunicaciones se basa en las tecnologías y técnicas utilizadas por la mayoría de los satélites artificiales. La tecnología de repetidores es específica de este tipo de satélites y deriva de la utilizada por los equipos de telecomunicaciones terrestres. Algunos componentes como las celdas solares y los tubos de ondas progresivas, se adaptan a las aplicaciones del satélite. Otros componentes derivan de dispositivos de producción normalizada, pero que han sido seleccionados especialmente y sujetos a verificaciones de fabricación y pruebas finales de control espacial.

Un satélite para comunicaciones Full-dúplex incluye las dos rutas de comunicación y por lo tanto, debe incluir un juego de transpondedores para recibir de una estación terrena y transmitir hacia la otra y viceversa.

En los satélites híbridos, los procesos descritos para las bandas C y Ku se llevan a cabo simultáneamente, a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes; estos equipos están contenidos en secciones separadas del subsistema de comunicaciones, puesto que unos están diseñados para trabajar en la banda C y otros para hacerlo en la banda Ku. Es fácil intuir que estos satélites por el hecho de duplicar su capacidad de trabajo, requieren más energía eléctrica, y en consecuencia necesitan más metros cuadrados de celdas solares para efectuar la conversión suficiente de energía solar en electricidad.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada portadora; por ejemplo, un canal de televisión tiene su propia frecuencia portadora, y la combinación de 60 canales telefónicos en un solo grupo también tiene la

suya. La misma técnica se utiliza cuando los canales telefónicos no se agrupan, sino que se envían en forma aislada, uno a uno; en este caso, cada canal telefónico tiene asignada una frecuencia portadora distinta. De igual forma, un canal digital que contenga datos, sin importar si es de alta o baja velocidad, requiere tener su propia frecuencia portadora.

Capítulo 4

CÁLCULO DE ENLACE

4.1. INTRODUCCIÓN

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

El cálculo de enlace vía satélite permite obtener los valores de potencia necesaria para comunicar dos o más estaciones terrenas (E/T), tomando en cuenta las consideraciones físicas relacionadas con el viaje de la señal por el espacio libre, con el tratamiento que recibe por parte de los equipos (entre ellos al satélite), a la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.

En el contexto de redes satelitales, el cálculo de enlace constituye la base matemática para el dimensionamiento de los equipos que se utilizan en las E/T, en tanto que la operación de redes, es útil para determinar la cantidad de potencia necesaria para que la comunicación entre dos o más E/T se realice con la calidad deseada.

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, se utilizará como el indicador de la calidad de comunicación en el sistema de microondas vía satélite.

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

- a) enlace ascendente
- b) enlace descendente
- c) evaluación del enlace

En las dos primeras partes se trata de obtener las relaciones (C/N) totales ascendentes y descendentes, en tanto que en la última parte se determina el margen del enlace.

El margen de enlace es el parámetro que 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 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 E/T y la PIRE de 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 se debe cambiar el valor de la potencia con la que transmite la E/T_{Tx}, así hasta obtener los resultados deseados.

4.2. CÁLCULOS PRELIMINARES

Estos son aquellos cálculos que proporcionan una serie de datos necesarios para el cálculo de enlace, de acuerdo a este método se calcula el ancho de banda, los ángulos de apuntamiento de azimut y elevación que presentaran las antenas, y la distancia entre la estación terrena y el satélite.

El ancho de banda calculado es el que la señal de comunicación necesita para transmitirse y se relaciona con la cantidad de ruido total que afectará en la relaciones C/N que define la calidad del enlace. El dato de la distancia servirá para evaluar las pérdidas de potencia debidas a la dispersión de la energía en la trayectoria de propagación; para obtener éste parámetro, se necesita conocer el ángulo de elevación. 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.

4.2.1. Ancho de banda

$$AB_{OCU} = V_{INF}(FEC)^{-1}(FM)(1 + ROLL\ OFF) \quad (\text{Hz})$$

Donde:

V_{inf} = Velocidad de información.

FEC = Factor debido al código de corrección de errores por adelantado.

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 (Características del modem) .

El ancho de banda descrito se le denominara ancho de banda ocupado y es el espacio en frecuencia que se utilizara para el cálculo de enlace.

$$AB_{ASIGN} = (AB_{OCU})(F_{asing}) \quad (\text{Hz})$$

Donde:

F_{asing} = Factor de asignación (1.37)

El ancho de banda asignado es un concepto utilizado en la asignación de las frecuencias operativas de los enlaces.

4.2.2. Apuntamiento de antena y distancia E/T - Satélite

ÁNGULO DE AZIMUT

$$A' = \text{TAN}^{-1} \left(\frac{\text{TAN}[\text{ABS}(\text{LONG}_{\text{SAT}} - \text{LONG}_{\text{E/T}})]}{\text{SEN LAT}_{\text{E/T}}} \right) \quad (^\circ)$$

Donde:

LONG_{SAT} = Longitud del satélite.
 LONG_{E/T} = Longitud de E/T.
 LAT_{E/T} = Latitud de E/T.
 ABS = Valor absoluto.

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

E/T al oeste del satélite: $A = 180 - A'$
 E/T al este del satélite: $A = 180 + A'$

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

E/T al oeste del satélite: $A = A'$
 E/T al este del satélite: $A = 360 - A'$

ÁNGULO DE ELEVACIÓN

$$E = \text{TAN}^{-1} \left[\frac{(R - \text{Re}(w))}{(\text{Re} \text{SEN}(\text{COS}^{-1}w))} \right] - \text{COS}^{-1}w \quad (^\circ)$$

Donde:

R = Distancia promedio del centro de la tierra a la órbita geostacionaria (42164.2 Km).
 Re = Radio promedio de la tierra (6378.155 Km).
 $w = (\text{COS LAT}_{\text{E/T}})(\text{COS}[\text{LONG}_{\text{SAT}} - \text{LONG}_{\text{E/T}}])$.

DISTANCIA DE E/T Y EL SATÉLITE

$$D = \left[R^2 + \text{Re}^2 - \left((2 * \text{Re} * R) \text{SEN} \left(E + \text{SEN}^{-1} \left(\left(\frac{\text{Re}}{R} \right) \text{COSE} \right) \right) \right) \right]^{1/2} \quad (\text{Km})$$

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).

E= Ángulo de elevación.

4.3. ENLACE ASCENDENTE

En ésta parte del cálculo de enlace se evalúa la relación C/N_{asctotal} , que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre la estación terrena transmisora y el satélite como receptor.

En primer lugar se evalúa C/N_{asc} (la relación de potencia de la portadora) con respecto al ruido propio del equipo receptor del satélite, en el cual interviene la potencia de transmisión de la estación terrena que es conocida como PIRE, las pérdidas provocadas por la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmosfera, la pérdida por el apuntamiento, la diferencia en alineación de las polaridades del satélite y la estación terrena, la atenuación que produce la lluvia y las características del ruido así como de la ganancia del satélite.

En el siguiente paso se tienen que evaluar las diferentes relaciones de interferencia que afectan el enlace ascendente, que son las siguientes:

C/I más bien conocida como la razón de potencia de portadora con respecto a la potencia del ruido de intermodulación en el HPA de la estación terrena transmisora.

C/X_{pol} o bien la razón de potencia de portadora con respecto a las señales en la polaridad contraria que van hacia el satélite.

C/X_{satady} o la razón de potencia de portadora respecto de señales que van dirigidas hacia los satélites colindantes al Este y Oeste, que por condiciones del patrón de radiación de las antenas de tierra en transmisión, son dirigidas hacia nuestro satélite.

Los valores que toman cada una de las relaciones de interferencia mencionadas anteriormente, varían en función de la densidad de potencia que tiene la portadora de comunicación, respecto al 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 rehusó de frecuencia 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 el valor de la potencia de la portadora es mayor con respecto al ruido de intermodulación, interferencia por polarización cruzada y por interferencia por satélite adyacente, el desempeño del enlace es mejor.

4.3.1. Relación portadora a densidad de ruido ascendente

$$C/N_{o_{asc}} = PIRE_{E/T} + G/T_{SAT} - K - L_{S_{asc}} - \mu_{asc} - L\Delta_{asc} \quad (\text{dB-Hz})$$

Donde:

- PIRE_{E/T} = Potencia isotrópica radiada efectivamente desde la E/T (dBW).
- G/T_{SAT} = Característica del satélite.
- K = Constante de Boltzman (-228.6 dBJ/°K).
- L_{S_{asc}} = Perdidas en el espacio libre ascendentes.

$$L_{S_{asc}} = 20 \log((4\pi * F * D)/C) \quad (\text{dB})$$

- F* = Frecuencia ascendente (Hz).
- D* = Distancia entre E/T_{Tx} y Satélite (m).
- C* = Velocidad de la luz (3*10⁸ m/s)

- μ_{asc} = Margen de atenuación por lluvia ascendente.
- L Δ_{asc} = Perdidas misceláneas, es la sumatoria de las perdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización su valor aproximado es de 1 dB.

Se propone el valor de 47.88 dBW para el PIRE de la E/T. En ésta metodología se propone el valor de PIRE de E/T_{Tx}, como punto de partida del cálculo, en términos reales será proporcionada por la combinación de potencia utilizada del HPA y la ganancia de la antena en transmisión.

4.3.2. Relación portadora a ruido ascendente

$$C/N_{asc} = C/N_{o_{asc}} - 10 \log AB_{ocu} \quad (\text{dB})$$

4.3.3. Relación portadora a ruido ascendente total

$$C/N_{asctotal} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/N_{asc}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/I}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/X_{pol}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/X_{satady}}{10}\right)}} \right) \quad (\text{dB})$$

Donde:

- C/I = Intermodulación ascendente.
C/I = -HPA_{INT} - IPBOi - 10 log AB_{ocu}
- C/X_{pol} = Polarización cruzada ascendente
C/X_{pol} = -INT_{ASCPOL} - IPBOi - 10 log AB_{ocu}
- C/X_{satady} = Satélite adyacente ascendente
C/X_{satady} = -INT_{ASCSADY} - IPBOi - 10 log AB_{ocu}

Del cual (IPOBi de portadora)

$$IPBOi = DFS - PIRE_{E/T} + LP_{asc} + ATP + L_{atm} + \mu_{asc}$$

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

4.4. ENLACE DESCENDENTE

En esta parte se evalúa la relación $C/N_{desc\ total}$, que constituye la calidad del enlace y la comunicación entre el satélite y la estación terrena receptora, ésta toma en cuenta las diferentes relaciones de interferencias que degradan el comportamiento del enlace al descenso.

En primer lugar se evalúa la relación C/N_{desc} , es decir, la relación de potencia de la portadora respecto al ruido propio del equipo receptor de la estación terrena receptora, en la 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 atmosfera, la perdidas de apuntamiento, la diferencia en alineación de las polaridades del satélite y estación terrena, la atenuación que produce la lluvia, las características del ruido y ganancia de la a estación terrena.

Posteriormente, se evalúan las relaciones de interferencia que afectan al enlace descendente como son:

C/I o razón de potencia de portadora con respecto a la potencia del ruido de intermodulación en el amplificador correspondiente al transpondedor del satélite donde se tratara la señal en particular.

C/X_{pol} o razón de potencia de portadora a las señales en la polaridad contraria que parten del mismo satélite hacia tierra en la misma frecuencia.

C/X_{satady} o razón de potencia de portadora con respecto de señales que provienen de los satélites colindantes al Este y Oeste, que por condiciones del patrón de radiación de las antenas de tierra en recepción, la coincidencia de coberturas en las mismas frecuencias y a la polaridad que entra a la estación terrena receptora.

Los valores que adoptan cada una de las relaciones de interferencia antes mencionadas, 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 transpondedor de satélite donde se transmite (C/I), de si existe o no el rehusó de frecuencia en el satélite (C/X_{pol}) y del tipo de trafico que comparte la misma banda de frecuencia y polaridad con los satélites colindantes, con el patrón de radiación de la antena receptora que funcionan en el sistema (C/X_{satady}).

La relación $C/N_{desc\ total}$ considera todos los aspectos mencionados anteriormente, cabe aclarar que cuando mayor sea el valor de la potencia de la portadora con respecto al ruido,

intermodulación, interferencia por polarización cruzada e interferencia por satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

4.4.1. Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$C/N_{o\text{desc}} = \text{PIRE}_{\text{SAT}} + G/T_{E/T} - K - L_{S\text{desc}} - \mu_{\text{desc}} - L\Delta_{\text{desc}} \quad (\text{dB} - \text{Hz})$$

Donde:

PIRE_{SAT} = PIRE de satélite por portadora.

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = -DFS_{Tx} - ATP + MIBO - Lp_{\text{desc}} + \text{PIRE}_{E/T} - MOBO + \text{PIRE}_{\text{SATU}(Rx)} \quad (\text{dBW})$$

DFS_{Tx} = Es la densidad de flujo de saturación hacia la localidad Tx.

$\text{PIRE}_{\text{SATU}(Rx)}$ = Es la PIRE da saturación hacia la localidad Rx.

$Lp_{\text{desc}} = Lp_{\text{asc}}$

$G/T_{E/T}$ = Característica de la estación terrena receptora o Figura de merito.

$$G/T_{E/T} = G_{ANT\text{Rx}} - 10 \log Ts \quad (\text{dB}^\circ\text{K})$$

$G_{ANT\text{Rx}}$ = Ganancia de la antena receptora.

Ts = Temperatura total del sistema.

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

$L_{S\text{desc}}$ = Perdidas del espacio libre descendentes.

$$L_{S\text{desc}} = 20 \log((4\pi * F * D)/C) \quad (\text{dB})$$

F = Frecuencia descendente (Hz).

D = Distancia entre Satélite y E/T_{Rx} (m).

C = Velocidad de la luz ($3*10^8$ m/s)

μ_{desc} = Margen de atenuación por lluvia descendente.

$L\Delta_{\text{desc}}$ = Perdidas misceláneas, es la sumatoria de las perdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización su valor aproximado es de 1 dB.

$\mu_{\text{desc}} = 0$

4.4.2. Relación portadora a ruido descendente

$$C/N_{\text{desc}} = C/N_{o\text{desc}} - 10 \log AB_{\text{OCU}} \quad (\text{dB})$$

4.4.3. Relación portadora a ruido descendente total

$$C/N_{\text{desc total}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/N_{\text{desc}}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/I}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/X_{\text{pol}}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/X_{\text{satady}}}{10}\right)}} \right) \quad (\text{dB})$$

Donde:

C/I = Intermodulación descendente.

$$C/I = -\text{SAT}_{\text{INT}} - \text{OPBOi} - 10 \log \text{AB}_{\text{OCU}}$$

C/X_{pol} = Polarización cruzada descendente

$$C/X_{\text{pol}} = -\text{INT}_{\text{DESCPOL}} - \text{OPBOi} - 10 \log \text{AB}_{\text{OCU}}$$

C/X_{satady} = Satélite adyacente descendente

$$C/X_{\text{satady}} = \text{PIRE}_{\text{SAT}} - (\text{INT}_{\text{DESCSADY}} - G_{\text{ANT RX}}) - 10 \log \text{AB}_{\text{OCU}}$$

Del cual (OPBOi de portadora)

$$\text{OPBOi} = \text{MOBO} - \text{MIBO} + \text{IPBOi}$$

4.5. EVALUACIÓN DE ENLACE

En esta sección se calcula la relación C/N_{Total} , esto es la resultante de la combinación entre el enlace ascendente total y el enlace descendente total. Además se calculara a la relación $C/N_{\text{requerida}}$ que depende de las características del modem y de la señal de comunicaciones. Al comparar a la C/N_{Total} con la $C/N_{\text{Requerida}}$, obtenemos el valor del margen del enlace que nos indicara finalmente si el enlace cumple o no con la calidad deseada en el diseño del enlace.

4.5.1. Relación portadora a ruido total

$$C/N_{\text{TOTAL}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/N_{\text{ASCTOTAL}}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/N_{\text{DESCTOTAL}}}{10}\right)}} \right) \quad (\text{dB})$$

4.5.2. Relación portadora a ruido requerido

$$C/N_{\text{REQ}} = E_b/N_o + 10 \log(\text{Vel inf}) - 10 \log \text{AB}_{\text{OCU}} \quad (\text{dB})$$

4.5.3. Margen de enlace

$$\text{ME} = C/N_{\text{TOTAL}} - C/N_{\text{REQ}} \quad (\text{dB})$$

Nota: El margen de enlace debe de ser mayor o cuando menos igual a cero. En caso de que el margen sea negativo, el 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 estación terrena propuesta inicialmente y se calculara nuevamente hasta lograr el margen de enlace que se haya fijado.

4.5.4. Porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite

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

4.5.5. Cálculo de la potencia consumida en el HPA

$$POT_{HPA'} = PIRE_{E/T} - G_{ANT TX} + L_{HPA Y ANT} \quad (\text{dBW})$$

Donde:

$G_{ANT TX}$ = Ganancia de antena transmisora.

$L_{HPA Y ANT} = 1$

y para convertir en Watts $POT_{HPA} = \text{anti log} \frac{POT_{HPA'}}{10}$

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

4.6. EJEMPLO

Cálculo de enlace satelital para una señal de voz y datos digitales, banda C, Región continental en el satélite Satmex 5.

Datos del satélite:

Satélite:	Satmex 5
Longitud:	116.8°****
Banda de operación:	C
Tipo de transpondedor:	H
Región:	Continental
Frecuencia de media Asc:	6.175 GHz
Frecuencia de media Desc:	3.950 GHz
MIBO:	7.5 Db*****
MOBO:	5.0 dB*****
ATP:	10 dB*****

Datos de la señal a transmitir

Velocidad de información:	64 Kbps
Modulación:	QPSK
Roll off:	14%
FEC:	$\frac{3}{4}$
BER:	10^{-7}
Eb/No:	8 dB

Datos de las estaciones terrenas transmisora y receptora.

Localidad:	Cancún, Q Roo.	Cd. de México.
Latitud:	21.05*	19.35 °N*
Longitud:	86.46*	99.01 °O*
Diámetro de antena:	1.8	1.8 m
Ganancia de antena Tx:	39.8	39.8 dBi
Ganancia de antena Rx:	36	36 dBi
Tem. total del sistema:	95	95 °K

Parámetros del sistema para las localidades de interés.

Localidad:	Cancún, Q Roo.	Cd. de México.
DFS:	-95.20**	-97.60** dBW/m ²
PIRE:	38.00**	39.40** dBW
G/T:	5.70**	8.10** dB/°K

*Verificar en el apéndice, tablas de parámetros satelitales.

** Estos datos se obtienen de la tabla de parámetros satelitales, de acuerdo al satélite usado, el valor cambia.

Estos datos se piden al momento de contactar al organismo encargado del satélite

*** Verificar dato en el apéndice, tabla de flota satelital norte y sur América

****Verificar este dato en el apéndice, tabla de parámetros de operación banda C (Tp angostos)

4.6.1. CÁLCULOS PRELIMINARES

Ancho de banda

$$AB_{OCU} = V_{INF}(FEC)^{-1}(FM)(1 + \text{ROLL OFF}) \quad (\text{Hz})$$

$$AB_{OCU} = (64) \left(\frac{3}{4}\right) (1 + 0.14)$$

$$AB_{OCU} = 48.6388 \text{ KHz}$$

$$AB_{ASIGN} = (AB_{OCU})(\text{Fasing}) \quad (\text{Hz})$$

$$AB_{ASIGN} = (48.6388)(1.37)$$

$$AB_{ASIGN} = 66.6352 \text{ KHz}$$

Ángulo de azimut para E/T_{Tx} Cancún, Q. Roo

$$A' = \text{TAN}^{-1} \left(\frac{\text{TAN}[\text{ABS}(\text{LONG}_{SAT} - \text{LONG}_{E/T})]}{\text{SEN } \text{LAT}_{E/T}} \right) \quad (^\circ)$$

$$A' = \text{TAN}^{-1} \left(\frac{\text{TAN}[\text{ABS}(116.8^\circ - 86.46^\circ)]}{\text{SEN } 21.05^\circ} \right)$$

$$A' = \text{TAN}^{-1} \left(\frac{0.5852}{0.3591} \right)$$

$$A' = 58.4652^\circ$$

Como la E/T_{Tx} se encuentra en el Hemisferio Norte y al Este del satélite.

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

$$A = 180^\circ + 58.4652^\circ$$

$$A = 238.4652^\circ$$

Ángulo de elevación para E/T_{Tx} Cancún, Q. Roo

$$E = \text{TAN}^{-1} \left[\frac{(R - Re(w))}{(Re \text{ SEN}(\text{COS}^{-1}w))} \right] - \text{COS}^{-1}w \quad (^\circ)$$

Para resolver primero hay que calcular w

$$w = (\text{COS } \text{LAT}_{E/T})(\text{COS}[\text{LONG}_{SAT} - \text{LONG}_{E/T}])$$

$$w = (\text{COS } 21.05^\circ)(\text{COS}[116.8^\circ - 86.46^\circ])$$

$$w = 0.8054$$

Sustituyendo w en E:

$$E = \text{TAN}^{-1} \left[\frac{(42164.2 - 6378.155(0.8054))}{(6378.155 \text{ SEN}(\text{COS}^{-1}0.8054))} \right] - \text{COS}^{-1}0.8054$$

$$E = \text{TAN}^{-1} \left[\frac{(42164.2 - 5136.97)}{(6378.155)(0.5927)} \right] - 36.3511$$

$$E = 47.8191^\circ$$

Distancia entre E/T_{Tx} Cancún, Q. Roo y Satmex 5

$$D = \left[R^2 + Re^2 - \left((2 * Re * R) \text{SEN} \left(E + \text{SEN}^{-1} \left(\left(\frac{Re}{R} \right) \text{COSE} \right) \right) \right) \right]^{1/2} \quad (\text{Km})$$

$$D = \left[42164.2^2 + 6378.155^2 - \left((2 * 6378.155 * 42164.2) \text{SEN} \left(47.8191^\circ + \text{SEN}^{-1} \left(\left(\frac{6378.155}{42164.2} \right) \text{COS } 47.8191^\circ \right) \right) \right) \right]^{1/2}$$

$$D = [42164.2^2 + Re6378.155^2 - 4.3319 \times 10^8]^{1/2}$$

$$D = 37219.7 \text{ Km}$$

Ángulo de azimut para E/T_{Rx} Cd. de México

$$A' = \text{TAN}^{-1} \left(\frac{\text{TAN}[\text{ABS}(116.8^\circ - 99.01^\circ)]}{\text{SEN } 19.35^\circ} \right)$$

$$A' = 44.0807^\circ$$

Como la E/T se encuentra ubicada en el Hemisferio Norte y al Este del satélite.

$$A = 180^\circ + 44.0807^\circ$$

$$A = 224.081^\circ$$

Ángulo de elevación para E/T_{Rx} Cd. de México

$$w = (\text{COS } 19.35^\circ)(\text{COS}[116.8^\circ - 99.01^\circ])$$

$$w = 0.8983$$

Sustituyendo w en E:

$$E = \text{TAN}^{-1} \left[\frac{(42164.2 - 6378.155(0.8983))}{(6378.155 \text{SEN}(\text{COS}^{-1} 0.8983))} \right] - \text{COS}^{-1} 0.8983$$

$$E = 59.5371^\circ$$

Distancia entre E/T_{Rx} Cd. de México y Satmex 5

$$D = \left[42164.2^2 + 6378.155^2 - \left((2 * 6378.155 * 42164.2) \text{SEN} \left(59.5371^\circ + \text{SEN}^{-1} \left(\left(\frac{6378.155}{42164.2} \right) \text{COS } 59.5371^\circ \right) \right) \right) \right]^{1/2}$$

$$D = 36542.3 \text{ Km}$$

4.6.2. ENLACE ASCENDENTE

Relación portadora a densidad de ruido ascendente

$$C/No_{asc} = PIRE_{E/T} + G/T_{sat} - K - L_{S_{asc}} - \mu_{asc} - L\Delta_{asc} \quad (\text{dB-Hz})$$

Donde:

$$L_{S_{asc}} = 20 \log((4\pi * F * D)/C) \quad (\text{dB})$$

$$L_{S_{asc}} = 20 \log((4\pi * 6.175 \times 10^9 * 37219.7 \times 10^3)/3 \times 10^8)$$

$$L_{S_{asc}} = 199.67 \text{ dB}$$

Sustituyendo $L_{S_{asc}}$ en C/No_{asc} :

$$C/No_{asc} = 48.88 + 5.7 - (-228.6) - 199.67 - 0 - 1$$

$$C/No_{asc} = 81.51 \text{ dB-Hz}$$

Relación portadora a ruido ascendente

$$C/N_{asc} = C/No_{asc} - 10 \log AB_{ocu} \quad (\text{dB})$$

$$C/N_{asc} = 81.51 - 10 \log 48.6388 \times 10^3$$

$$C/N_{asc} = 34.6402 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido ascendente total

$$C/N_{asc\text{total}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/N_{asc}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/I}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/X_{pol}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C/X_{satady}}{10}\right)}} \right) \quad (\text{dB})$$

Donde:

$$IPBOi = DFS - PIRE_{E/T} + L_{P_{asc}} + ATP + L_{atm} + \mu_{asc}$$

$$L_{P_{asc}} = 10 \log(4 * \pi * D^2)$$

$$L_{P_{asc}} = 10 \log(4 * \pi * 37219.7 \times 10^3)^2$$

$$L_{P_{asc}} = 162.404 \text{ dB}$$

Sustituyendo $L_{P_{asc}}$ en $IPBOi$:

$$IPBOi = -95.20 - 47.88 + 162.404 + 10 + 0.5 + 0$$

$$IPBOi = 29.827 \text{ dB, Sustituyendo IPBOi en las siguientes tres formulas:}$$

C/I = Intermodulación ascendente.

$$C/I = -HPA_{INT}^* - IPBOi - 10 \log AB_{OCU}$$

$$C/I = -(-106.0) - 29.827 - 10 \log 48.6388 \times 10^3$$

$$C/I = 29.3032 \text{ dB}$$

* HPA_{INT} dato obtenido en el apéndice de la tabla de parámetros de operación banda C (Tp angostos).

$$\begin{aligned}
 C/X_{pol} &= \text{Polarización cruzada ascendente} \\
 C/X_{pol} &= -INT_{ASC POL}^* - IPBO_i - 10 \log AB_{ocu} \\
 C/X_{pol} &= -(-112.5) - 29.827 - 10 \log 48.6388 \times 10^3 \\
 C/X_{pol} &= 35.8032 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C/X_{satady} &= \text{Satélite adyacente ascendente} \\
 C/X_{satady} &= -INT_{ASC SADY}^* - IPBO_i - 10 \log AB_{ocu} \\
 C/X_{satady} &= -(-110) - 29.827 - 10 \log 48.6388 \times 10^3 \\
 C/X_{satady} &= 33.3032 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Sustituyendo C/N_{asc} , C/I , C/X_{pol} y C/X_{satady} en $C/N_{asctotal}$:

$$\begin{aligned}
 C/N_{asctotal} &= 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log} \left(\frac{36.6402}{10} \right)} + \frac{1}{\text{anti log} \left(\frac{29.3032}{10} \right)} + \frac{1}{\text{anti log} \left(\frac{35.8082}{10} \right)} + \frac{1}{\text{anti log} \left(\frac{33.3032}{10} \right)}} \right) \\
 C/N_{asctotal} &= 26.4824 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

4.6.3. ENLACE DESCENDENTE

Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$C/N_{0desc} = PIRE_{SAT} + G/T_{E/T} - K - L_{Sdesc} - \mu_{desc} - L\Delta_{desc} \quad (\text{dB} - \text{Hz})$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 PIRE_{SAT} &= -DFS_{Tx} - ATP + MIBO - L_{pdesc} + PIRE_{E/T} - MOBO + PIRE_{SATU(Tx)} \quad (\text{dBW}) \\
 PIRE_{SAT} &= -(-97.60) - 10 + 7.5 - 162.407 + 47.88 - 0.5 + 39.40 \\
 PIRE_{SAT} &= 14.973 \text{ dBW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{Sdesc} &= 20 \log((4\pi * F * D)/C) \quad (\text{dB}) \\
 L_{Sdesc} &= 20 \log((4\pi * 3.950 \times 10^9 * 36542.3 \times 10^3)/3 \times 10^8) \\
 L_{Sdesc} &= 195.63 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G/T_{E/T} &= G_{ANT Rx} - 10 \log Ts \quad (\text{dB}^\circ\text{K}) \\
 G/T_{E/T} &= 36 - 10 \log 95 \\
 G/T_{E/T} &= 16.2228 \text{ dB}^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

Sustituyendo $PIRE_{SAT}$, L_{Sdesc} y $G/T_{E/T}$ en C/N_{0desc} :

$$\begin{aligned}
 C/N_{0desc} &= 14.973 + 16.2228 - (-228.6) - 195.63 - 0 - 1 \\
 C/N_{0desc} &= 63.1658 \text{ (dB} - \text{Hz)}
 \end{aligned}$$

Relación portadora a ruido descendente

$$C/N_{desc} = C/N_{0desc} - 10 \log AB_{OCU} \quad (\text{dB})$$

* $INT_{ASC POL}$ $INT_{ASC SADY}$ se obtienen en el apéndice de la tabla de parámetros de operación banda C (Tp angostos).

$$C/N_{desc} = 63.1658 - 10 \log 48.6388 \times 10^3$$

$$C/N_{desc} = 16.296 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido descendente total

$$C/N_{desc\text{total}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{C/N_{desc}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{C/I}{10}\right)} + \frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{C/X_{pol}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{C/X_{satady}}{10}\right)}} \right) \quad (\text{dB})$$

Donde:

$$OPBi = MOBO - MIBO + IPBOi$$

$$OPBi = 5.0 - 7.5 + 29.8270$$

OPBi = 27.327 dB, Sustituyendo OPBi en las siguientes tres formulas:

C/I = Intermodulación descendente.

$$C/I = -SAT_{INT}^* - OPBOi - 10 \log AB_{OCU}$$

$$C/I = -(-97.2) - 27.327 - 10 \log 48.6388 \times 10^3$$

$$C/I = 23.0032 \text{ dB}$$

C/X_{pol} = Polarización cruzada descendente

$$C/X_{pol} = -INT_{DESCPOL}^* - OPBOi - 10 \log AB_{OCU}$$

$$C/X_{pol} = -(-107.5) - 27.327 - 10 \log 48.6388 \times 10^3$$

$$C/X_{pol} = 33.3032 \text{ dB}$$

C/X_{satady} = Satélite adyacente descendente

$$C/X_{satady} = PIRE_{SAT} - (INT_{DESCSADY}^* - G_{ANT\ RX}) - 10 \log AB_{OCU}$$

$$C/X_{satady} = 14.973 - (-15 - 36) - 10 \log 48.6388 \times 10^3$$

$$C/X_{satady} = 19.1032 \text{ dB}$$

Sustituyendo C/N_{desc}, C/I, C/X_{pol} y C/X_{satady} en C/N_{desc\text{total}}}:

$$C/N_{desc\text{total}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{16.296}{10}\right)} + \frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{23.0032}{10}\right)} + \frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{33.3032}{10}\right)} + \frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{19.1032}{10}\right)}} \right)$$

$$C/N_{desc\text{total}} = 13.8475 \text{ dB}$$

4.6.4. EVALUACIÓN DE ENLACE

Relación portadora a ruido total

$$C/N_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{C/N_{ASC\text{TOTAL}}}{10}\right)} + \frac{1}{\text{anti log}\left(\frac{C/N_{DESC\text{TOTAL}}}{10}\right)}} \right) \quad (\text{dB})$$

*SAT_{INT}, INT_{DESCPOL} Y INT_{DESCSADY} se obtienen del apéndice de la tabla de parámetros de operación banda C (Tp angostos).

$$C/N_{\text{TOTAL}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{anti log} \left(\frac{26.4824}{10} \right)} + \frac{1}{\text{anti log} \left(\frac{13.8475}{10} \right)}} \right)$$

$$C/N_{\text{TOTAL}} = 13.617 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido requerido

$$C/N_{\text{REQ}} = E_b/N_0 + 10 \log(\text{Vel inf}) - 10 \log AB_{\text{OCU}} \quad (\text{dB})$$

$$C/N_{\text{REQ}} = 8 + 10 \log 64 \times 10^3 - 10 \log 48.6388 \times 10^3$$

$$C/N_{\text{REQ}} = 9.1919 \text{ dB}$$

Margen de enlace

$$ME = C/N_{\text{TOTAL}} - C/N_{\text{REQ}} \quad (\text{dB})$$

$$ME = 13.617 - 9.1919$$

$$ME = 4.4251 \text{ dB}$$

Porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite

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

$$\%POT = \left\{ \text{anti log} \left[\left(\frac{14.973 - 39.40 + 5.0}{10} \right) \right] \right\} * 100$$

$$\%POT = 1.1410$$

Cálculo de la potencia consumida en el HPA

$$POT_{\text{HPA}'} = \text{PIRE}_{\text{E/T}} - G_{\text{ANT TX}} + L_{\text{HPA Y ANT}} \quad (\text{dBW})$$

$$POT_{\text{HPA}'} = 47.88 - 39.8 + 1$$

$$POT_{\text{HPA}'} = 9.08 \text{ dBW}$$

y en Watts

$$POT_{\text{HPA}} = \text{anti log} \frac{POT_{\text{HPA}'}}{10}$$

$$POT_{\text{HPA}} = \text{anti log} \frac{9.08}{10}$$

$$POT_{\text{HPA}} = 8.0909 \text{ W}$$

Capítulo 5

INSTALACIÓN DE UNA ANTENA

5.1. INTRODUCCIÓN

La antena es uno de los elementos más importantes de los dispositivos utilizados en un sistema de comunicación digital, es por ello que nos vamos a enfocar en la instalación de este dispositivo con todos los parámetros correspondientes que se requieren para fijar de manera definida la antena.

Las antenas en la actualidad son muy importantes para los sistemas de comunicaciones digitales en todo el mundo, ya que a través de este dispositivo y los componentes que conllevan, es como se dan muchas de las tareas que tienen que ver con los satélites y sus beneficios a nivel mundial.

5.2. DATOS PARA LA ORIENTACIÓN DE UNA ANTENA

Para la orientación de una antena es importante saber los valores de transmisión y recepción que se necesitan para que se lleve a cabo el apuntamiento de la antena, a continuación se mencionan los datos que se necesitan para la orientación de la antena:

- Satélite al que se va a orientar para saber su longitud.
- Angulo de azimut de la antena.
- Angulo de elevación de la antena.
- Frecuencia de la señal.
- Simbol rate.
- Data rate.
- Fec.
- Polarización de la señal.
- Potencia del amplificador.

Satélite, azimut y elevación: La latitud del satélite ya está establecida, en el caso del ángulo de azimut y elevación se calculan como se mostró en el capítulo anterior.

Frecuencia de la señal: Este dato lo dan las empresas que requieren el servicio o en todo caso se puede obtener de la página de internet de Lyngsat para realizar pruebas.

Simbol rate (SR): Este dato es brindado por la empresa que requiere el servicio o bien se obtiene de la página de internet de Lyngsat para realizar pruebas.

Data rate: Este valor se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Data rate} \left(\frac{\text{SR}}{\left(\frac{204}{188} \right) * \text{Fec}} \right) * 2$$

Fec: Este valor es asignado por el prestador del servicio o bien se obtiene de la página de internet Lyngsat para realizar pruebas.

Polarización: El tipo de polarización también es brindado por el prestador del servicio y también se obtiene de la página de internet antes mencionada.

La potencia del amplificador: Es la potencia que es requerida para transmitir la señal hasta el satélite; éste valor es obtenido por los cálculos que en el capítulo anterior se realizaron.

5.3. DISPOSITIVOS A UTILIZAR PARA LA ORIENTACIÓN DE UNA ANTENA

En la orientación es necesario contar con diversos aparatos electrónicos, para que se pueda llevar a cabo la orientación correcta de la antena con todos sus mejores niveles de ganancia, correcta polarización y sobre todo una buena recepción en general; enseguida se mencionarán los dispositivos básicos que se usan para el apuntamiento de la antena.

- Bloque amplificador de bajo ruido (LNB).
- Receptor.
- Analizador de espectro.
- Monitor de TV.
- Codificador.
- Convertidor de subida.
- Amplificador de estado sólido.

El bloque amplificador de bajo ruido es utilizado para amplificar a la débil señal proveniente del satélite, además se encarga de disminuir la frecuencia de los niveles de radiofrecuencia a frecuencia intermedia y sobre todo para asignar la polaridad que se desea brindar, ésta última parte va dependiendo de la posición en que se encuentre el LNB para recibir una señal.

En el receptor o decodificador es donde se ingresan los datos de la señal a recibir y donde se verifican los niveles de ganancia, sin embargo, es en éste dispositivo donde se encuentran los conectores de salida para recuperar la señal que fue transmitida.

En el analizador de espectro es usado para ayudar visualmente a orientar la antena y localizar la frecuencia del satélite que se desea encontrar; en su pantalla muestra el ancho de banda completo que maneja el satélite, el analizador es de gran ayuda para localizar un espacio de frecuencia disponible para hacer un enlace, también es de ayuda para el apuntamiento de la antena ya que cuando se está cerca del direccionamiento de la antena con el satélite muestra el ancho de banda completo y conforme se aleja la antena del apuntamiento adecuado se pierde la visualización en el analizador.

En el monitor de TV es donde se visualiza y se escucha la imagen de la señal o bien dependiendo al modelo del receptor visualizar su configuración.

El codificador es el dispositivo electrónico en donde se configuran todos los parámetros (la frecuencia, el simbol rate, el data rate, la modulación a usar, la croma, la resolución, el nombre de la transmisión, la polarización y el Fec) que va a llevar la señal en su transmisión.

El convertidor de subida es el dispositivo que se encarga de aumentar el valor de frecuencia intermedia a valores de radiofrecuencia en banda C o Ku.

El amplificador de estado sólido es el que suministra la potencia necesaria que requiere el sistema completo para hacer una transmisión con buenos niveles de ganancia.

5.4. APUNTAMIENTO DE UNA ANTENA RECEPTORA Y TRANSMISORA

En este punto se tratará de mostrar de la mejor manera posible los pasos a seguir para orientar una antena parabólica de cualquier tipo, usando un procedimiento básico en el ensamblado de sus diferentes dispositivos que la acompañan para que se establezca un correcto funcionamiento para un tiempo indefinido, en la figura 5.1 se muestra el modelo de un antena tipo offset.

El primero de los puntos es uno de los más importantes, es el relacionado al ensamblado de la antena, en este punto hay que seguir de manera adecuada las instrucciones del manual de ensamblado de la antena.



Figura 5.1. Ejemplo de una antena tipo offset

Cuando ya esté terminada de ensamblar hay que buscar el lugar adecuado para fijarla, para esto hay que tomar en cuenta diferentes puntos como son el ángulo de azimut y elevación de la antena para que no tenga problemas de interferencia, lo que se debe hacer es verificar si hay una barda alta que no sobrepase el ángulo de elevación que se desea para el

apuntamiento de la antena; para saber si la barda va a interferir o no con el ángulo de elevación se utiliza una brújula que contenga la herramienta para medir este ángulo o bien con un inclinómetro, en tanto al ángulo de azimut solamente hay que verificar con la brújula la dirección del ángulo hacia donde quedará dirigida la antena.

En la figura 5.2 se muestra una antena que ya está apuntada, como se puede observar hay una barda en la dirección donde quedó orientada, cabe aclarar que aunque haya bandas enfrente de la antena no afectará el enlace; siempre y cuando esta barda no afecte el ángulo de elevación que requiere la antena.

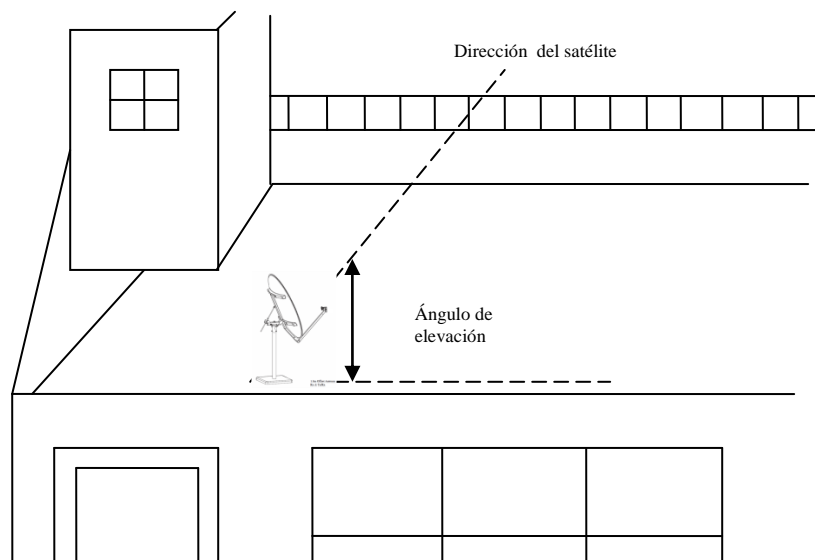


Figura 5.2. Ejemplo de orientación de la antena

Encontrado el lugar adecuado para instalar la antena se procede a fijar de manera definitiva la base en donde se maniobran los movimientos del reflector para llegar a la orientación correcta con el satélite. En este paso la base de la antena debe quedar bien nivelada, esto incluye la nivelación del poste en donde se monta el reflector, la fijación completa de la base se hace conforme a la nivelación del poste, que tiene que quedar exactamente a 90° en cualquiera de sus cuatro lados (mejor dicho a plomo) con respecto al piso para que al momento de apuntar la antena, los grados sean los adecuados y no haya desfase, para llegar a este resultado es necesario utilizar una herramienta de nombre nivel. El procedimiento para hacerlo depende al tipo de base del modelo de la antena. Estando fijo el poste se debe de montar el reflector para que se pueda comenzar con el apuntamiento de la antena.

Es importante mencionar que en éste paso es muy relevante que la base quede correctamente nivelada, porque es vital a la hora de orientar la antena, ya que si llega a ver tan sólo un error de nivelación de un grado no se podrá hacer el enlace, esto es porque un error de un grado en el espacio equivale a kilómetros de distancia por lo que la antena estará apuntada incorrectamente y solo por eso se tardaría mucho tiempo para orientarla bien y eso si es que se puede orientar, en la figura 5.3 se muestra la fijación de una base.

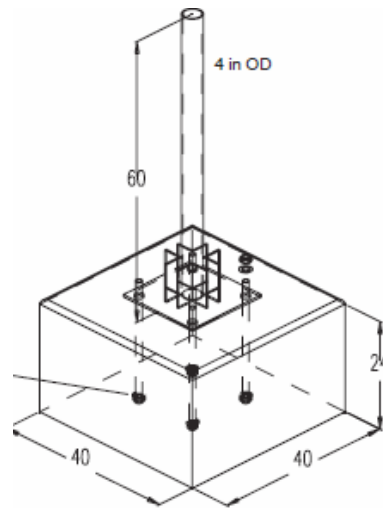


Figura 5.3. Ejemplo de la fijación de una base de antena

Después de ensamblar y fijar por completo la antena se procede a colocar el bloque amplificador de bajo ruido (LNB) en el soporte o tirantes. Antes de comenzar con la orientación es necesario hacer la conexión de los dispositivos para ingresar los datos de la señal, para que así los aparatos comiencen a detectar las señales e indicarnos que estamos enlazados con el satélite.

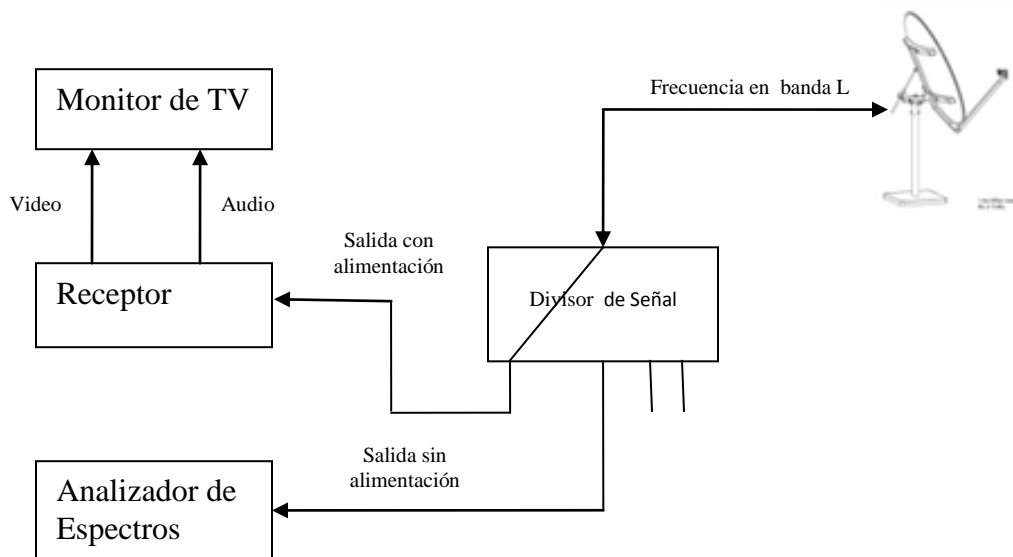


Figura 5.4. Conexión de dispositivos para una estación terrena receptora

En la figura 5.4 se muestra la manera más adecuada de conectar los dispositivos, para recibir información con la mejor calidad posible sin pérdidas graves en la señal. La conexión que es dirigida hacia el divisor de señal está en los niveles de radiofrecuencia en banda C o Ku. En las salidas del divisor la señal es dirigida en dos direcciones una que va al receptor y la otra al analizador de espectros, cabe mencionar que la señal que es dirigida al

receptor debe de estar enchufada a la salida con caída de voltaje para que el LNB este alimentado, con respecto a la señal dirigida al analizador de espectros debe ser puesta en cualquier otra salida, ya que el divisor solo cuenta con una salida con alimentación, es importante mencionar que no se debe de conectar ningún otro dispositivo que no sea el receptor en la terminal de alimentación del divisor, porque podrían causar daños importantes en los dispositivos. En el analizador de espectros se visualizan las señales que están en el satélite, esto sirve para observar cuando ya está más cerca de la señal deseada, sin embargo, no es necesario utilizarlo si se tiene práctica. Las salidas de audio y video del receptor son dirigidos al monitor de TV que cuenta con estas entradas correspondientes para visualizar la señal recibida.

Cuando esté terminado de conectar el equipo completo se procede a configurar el receptor, el proceso dependerá de la marca de éste, comúnmente al encender el decodificador aparecerá un menú que muestra todas las funciones que se pueden realizar, entonces se procederá a seleccionar con las teclas de navegación la opción de DEMO o la correspondiente al modelo que se tenga, el paso siguiente es ingresar los valores de frecuencia de la señal que se desee, el valor del oscilador local (O.L., para recibir una frecuencia en banda C se ingresa el valor de 550 MHz y en Ku 10750 MHz), el Simbol rate o Data rate, Fec y el voltaje de polarización que dependerá de la polarización que tenga la señal, el voltaje puede ser de 13 ó 18V, posteriormente se presiona la tecla Enter u OK para que se guarden todos los datos ingresados en el receptor, y se pueda proceder con el apuntamiento.

El procedimiento para apuntar la antena debe ser de la siguiente manera:

- 1.- Ajustar el ángulo de azimut.
- 2.- Ajustar el ángulo de elevación.
- 3.- Ajustar la polarización del LNB.

Para ajustar el ángulo de azimut se debe de girar el reflector en el plano horizontal con respecto al norte como se ve en la figura 5.5 teniendo en cuenta los grados a los que se va a ajustar, por ejemplo en la ciudad de México el ángulo de azimut calculado es de 224° para el satélite Satmex 5, para el ángulo magnético se le restan aproximadamente 4 grados y se tendrá el ángulo al que se va a dirigir que es de 220° aproximadamente, el ángulo se localiza utilizando una brújula.

Para el ángulo de elevación se debe de mover la base del reflector en forma vertical para que se pueda recibir el haz de la señal proveniente del satélite. Para este ángulo es necesario explicar que es diferente con respecto a la antena utilizada, en el caso de una antena de foco centrado el ángulo al que se ajusta es el calculado, sin embargo, en el caso de una antena tipo offset el ángulo es 10° menor al calculado, para ajustar el ángulo de elevación se utiliza la escala de que contiene marcada la antena como se observa en la figura 5.6, en el caso que la antena no contenga la escala se utiliza el inclinometro como se observa en la figura 5.7, de este forma es como se concluye el ajuste de este ángulo.



Figura 5.5. Movimiento del ángulo de azimut

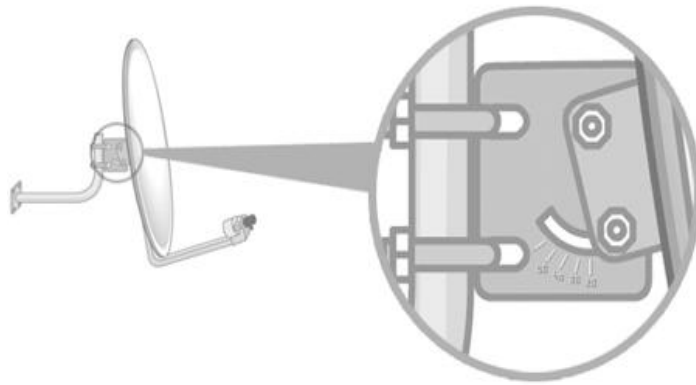


Figura 5.6. Escala de la antena para ajustar el ángulo de elevación



Figura 5.7. Utilización del inclinómetro para ajustar el ángulo de elevación

El último de los pasos es mover el LNB en el sentido de las manecillas del reloj 90° aproximadamente para una polarización horizontal, como se muestra en la figura 5.8, el movimiento dependerá de la polarización que se utilizará en la recepción de la señal; cuando se desee hacer un cambio de la polaridad, es decir, de horizontal a vertical o viceversa, se gira el LNB 90° con respecto a la polarización anterior.

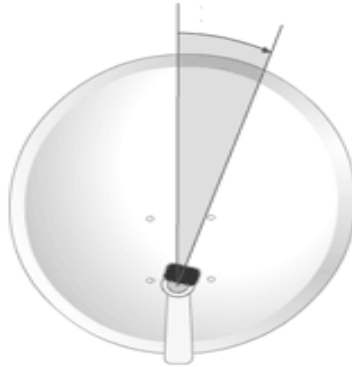


Figura 5.8. Ajuste del LNB

Terminando de ajustar los valores de la antena se procede a configurar el receptor para que en el display se observe la función de nivel de Eb/No (nivel de ganancia), posteriormente se observa si muestra algún nivel de Eb/No, si no muestra nada se mueve un poco el LNB, el reflector tanto en azimut y elevación y se espera unos dos segundos para observar los cambios, si es que ya hay Eb/No no se mueve ya nada y si no se vuelven a mover algunos de los valores anteriores no todos al mismo tiempo hay que observar los cambios que ocurren al mover cada uno de los ángulos hasta que se tenga nivel de Eb/No en el display, entre más Eb/No tenga la señal recibida es mejor la calidad de la señal.

Lo descrito anteriormente es lo que se tiene que hacer básicamente para orientar una antena receptora, en el caso del apuntamiento para la antena transmisora es necesario hacer lo mismo como si se fuera a recibir una señal para estar seguros de que está bien orientada, posteriormente es muy importante desconectar los dispositivos que son ocupados en la recepción y ensamblar los dispositivos que serán ocupados para la transmisión de la señal.

A continuación se muestra un diagrama a bloques (figura 5.9) que describe la conexión de los diferentes dispositivos que se ocupan en la transmisión de la señal.

En la configuración de los aparatos con respecto al codificador se agregan los valores antes citados como el simbol rate, date rate, Fec, frecuencia de la señal, polarización. En el codificador también es donde se configura la calidad de la señal como la croma, nitidez, nombre de la señal, encriptación de la misma, tipo de audio (digital o análogo), cantidad de audios y formato de imagen. Es de importancia mencionar que todos los valores que son agregados al codificador son los datos que va a adquirir la señal para que se pueda recibir en una estación terrena receptora.

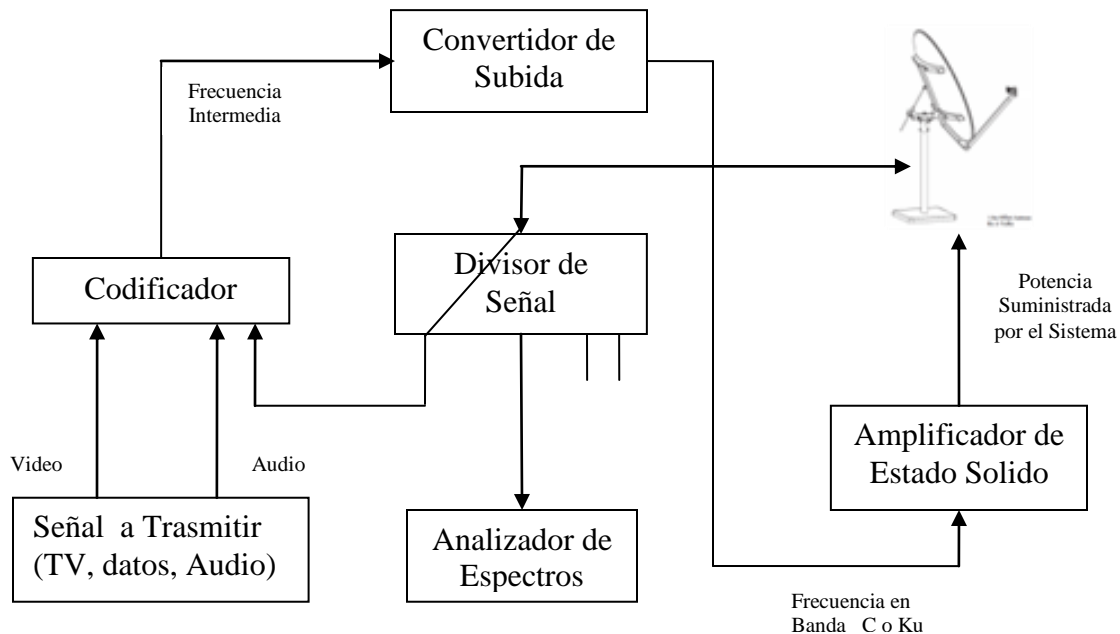


Figura 5.9. Conexión de dispositivos de una estación terrena transmisora

Los valores que se configuran en el convertidor de subida son de acuerdo a la banda en que se va a transmitir ya sea en banda C o Ku. El amplificador de estado sólido se configura con la potencia calculada en el capítulo anterior. En el analizador de espectros se puede observar antes de transmitir, el ancho de banda que es asignado por la empresa que está a cargo del satélite, en él también se puede observar si subió la señal en la frecuencia designada y se puede ver como se varia la potencia suministrada por el amplificador para tener una mejor calidad de la señal, es por eso que en la transmisión es muy importante utilizar el analizador de espectros.

Es importante mostrar cómo se conecta una antena transceptora (figura 5.10), esto quiere decir que recibe y transmite una señal al mismo tiempo, el funcionamiento que realiza es de mucha utilidad ya que las empresas se ahorran el comprar dispositivos para dos estaciones terrenas, es por eso que las estaciones terrenas transceptoras han tenido una amplia relevancia en la actualidad y es por que las empresas pueden hacer una transmisión y recibir otra al mismo tiempo, esta tecnología ha tenido su principal función en el internet satelital porque constantemente se está recibiendo y transmitiendo información y en las televisoras que generalmente se trasladan a diferentes lugares y tienen que montar una sola estación terrena para hacer sus enlaces en sus programas correspondientes.

En esta conexión se muestra un dispositivo nuevo que es el sistema de localización satelital, en este dispositivo se ingresan los valores de los ángulos de azimut, elevación, la polaridad de la señal y la longitud del satélite para que automáticamente el dispositivo oriente la antena a través de su sistema GPS.

DIAGRAMA A BLOQUES DE LOS NIVELES UTILIZADOS PARA LA VERIFICACIÓN TÉCNICA/OPERATIVA DEL EQUIPAMIENTO DE LA ANTENA FLY AWAY PATRIOT TXFLY - 180

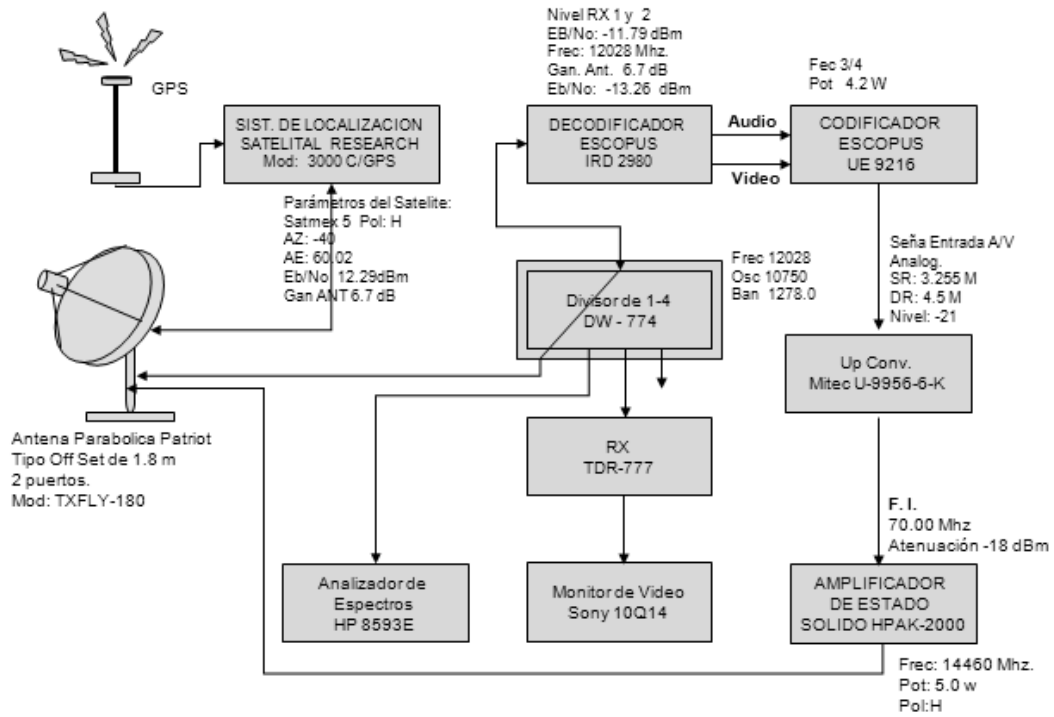


Figura 5.10. Conexión de dispositivos para una estación terrena transceptora

Capítulo 6

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

Los enlaces satelitales son muy importantes en la época actual, por eso es que las comunicaciones digitales han crecido enormemente, para dar un apoyo importante a todas las empresas a nivel mundial para que puedan interconectarse en todo el mundo con otras empresas o con sus filiales, es por eso que las empresas hoy en día tienen que agregar a su presupuesto el equipo para un enlace satelital.

6.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA

DISPOSITIVO	MODELO	COSTO
ANTENA PARABÓLICA PATRIOT TIPO OFFSET DE 1.8M TX Y RX (incluye alimentador de banda Ku. Soporta hasta 50lbs de BUC y LNB)	TX-INT180KUG	US\$ 550
DECODIFICADOR SCOPUS	IRD 2980	US\$ 3,500
CODIFICADOR SCOPUS	UE 9216	US\$ 13,850
CONVERTIDOR DE SUBIDA COMTECH	UT-4514	US\$ 11,390
AMPLIFICADOR DE ESTADO SOLIDO PARADISE DATACOM	HPAK-2000	US\$ 46,150
ANALIZADOR DE ESPECTROS AGILENT	E4408B-ESA-L	US\$ 27,398
MONITOR DE VIDEO SONY TRINITRON	SSM-14N5U	US\$ 99
DIVISOR DE SEÑAL 1-4	DW-774	US\$ 9
GUÍA DE ONDA FLEXIBLE PARA BANDA KU DE 6 PIES	WR75	US\$ 450
BRÚJULA + INCLINOMETRO SUUNTO TANDEM	360PC/360	US\$ 249
ACCESORIOS(cable coaxial, cables para interconexión de video y audio, extensiones de luz de 5 a 30m, conectores RF)		US\$ 900
TOTAL		US\$ 104,545

Figura 6.1. Evaluación económica de una instalación

La evaluación económica anterior (figura 6.1) está especificada para una estación terrena tipo transeptora, para brindarle una idea del valor económico que genera el instalar un enlace satelital fijo. Este presupuesto es un esquema de un sistema completo que cumple con ciertas características de ganancias, es relevante mencionar que de acuerdo a la función para el que sea diseñado un sistema el valor de una estación terrena cambiará considerablemente ya sea para disminuir el costo o para aumentarlo.

Los diferentes tipos de estaciones terrenas hacen que los organismos requieran diversos servicios satelitales, es por eso que las evaluaciones económicas pueden variar mucho, hay organismos que solo van a requerir el servicio de recepción o transmisión por las funciones que realicen, por ejemplo un empresa requiere conexión a internet satelital, en este caso la empresa buscará un prestador que brinde el servicio para que le rente el internet, la empresa que brindará la conexión a internet incluirá seguramente los dispositivos necesarios para la recepción incluyendo la instalación de la antena, en este caso ésta empresa cobrará el servicio de instalación, el costo de los dispositivos utilizados y la renta del servicio de internet. Como se observa en este caso el valor de esta estación receptora será muy bajo en comparación a un sistema más completo.

Cabe aclarar que para una transmisión satelital se tiene que pedir un espacio en la banda del satélite al que se desea transmitir, con la empresa que se encarga del manejo del satélite, generalmente la empresa que va a requerir dicho servicio tendrá que pagar por ocupar un espacio de frecuencia en satélite, el costo depende de la banda que se desea ocupar, de la zona de cobertura y de la empresa que se encuentra encargada del satélite.

Para finalizar las marcas que se ocupan en la instalación de una estación terrena transmisora o receptora profesional son diversas, por lo que se mencionan sólo algunas de las marcas ocupadas en los transmisores, receptores, convertidores de subida, amplificadores de potencia, antenas y accesorios:

- Tiernan
- Rydane
- Scopus
- Comtech
- Paradise datacom
- Anancom
- Mitec
- Patriot
- Andrew
- Fortec
- Chaparral
- Norsat
- Suunto tándem
- Sony
- Condumex

Capítulo 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. INTRODUCCIÓN

Es relevante mencionar lo indispensable y necesarias que son en nuestra época las comunicaciones en general, en estos tiempos es muy difícil imaginar un mundo en donde no existiera la telefonía celular, el internet, el sistema de cable en casa, la interrelación de las empresas a nivel mundial, el correo electrónico, las transmisiones de los eventos más importantes en el mundo, etc.

7.2. CONCLUSIONES

Este escrito particularmente lo considero muy interesante por los temas que abarca en relación a la instalación de las estaciones terrenas y sus complementos que se necesitan para que se lleven a cabo una transmisión o recepción satelital correcta.

Me parece que los temas que son mencionados en esta memoria son de verdad interesantes por la información que contiene, sin embargo, mencionan una gran parte del funcionamiento de cada uno de los tres niveles que constituyen los enlaces satelitales como son el segmento de transmisión, segmento especial y el segmento de recepción; que hacen que sea fácil de comprender en todo sus puntos, ya que se mencionan los dispositivos que son utilizados generalmente, explicando la aportación que hacen al sistema dando como resultado una buena transmisión o recepción de una señal.

Uno de los temas más sobresalientes es el cálculo de enlace en donde se calcula desde el dato más sencillo hasta el más difícil, el cálculo de enlace se compone de tres partes principales, en el primero se calculan los datos más esenciales como son el ancho de banda, ángulo de azimut, ángulo de elevación y distancia de la estación terrena con el satélite. En el segundo se calculan los valores de pérdidas ascendentes y descendentes; por último se calculan los valores para evaluar el enlace. Esta información es de verdad muy importante saberla ya que si se trabaja en una empresa que se dedique a estos servicios de comunicaciones es necesario saber cómo obtener estos datos para hacer un buen enlace y sobre todo obtener los valores para hacer el apuntamiento de la antena.

En lo que refiere a la instalación de la antena la información que se menciona es buena y es que muestra paso a paso el apuntamiento de ésta, ya que los modelos de dispositivos que se usan en las instalaciones de las estaciones terrenas son diferentes. Es de gran ayuda éste texto para la instalación de las antenas porque los dispositivos utilizados no varían mucho las funciones con respecto a otros modelos y el procedimiento de uso es muy parecido sino es que igual. En la evaluación económica se muestran los precios de los

dispositivos usados en una estación terrena transceptora para que se dé una idea del costo que lleva el poner éste sistema de enlace satelital completo.

7.3 RECOMENDACIONES

Las modulaciones con la que trabajan los enlaces satelitales pueden variar dependiendo al servicio que requieran los clientes, es decir, la calidad que deseen que tenga su señal, en el caso de los enlaces satelitales la modulación más usada es la QPSK y esta varía dependiendo a los estados lógicos para los que se programe, dependiendo a los estados lógicos que se programe mejor será la capacidad de información y mejor la velocidad con la que se envía la información. Para llevar a cabo esto de manera adecuada es necesario que las estaciones terrenas estén manejando los mismos datos para que no haya algún desfase en las señales y sobre todo para que en los receptores puedan abrir la información.

En el segmento de transmisión, antes de hacer el enlace hay que verificar que el codificador tenga guardada la configuración de la información a transmitir, porque puede causar problemas en el satélite, es decir, que por casualidad no se hayan ingresado en el codificador los valores correctos y por equivocación se ingresara un frecuencia que se encuentra en uso por otro usuario se encimaría la señal a transmitir y causaría un problema grave por la interrupción de otra señal, es por eso que se debe de ser precavido con los dispositivos, además es importante que cuando se haga por primera vez el enlace, el HPA tenga el valor de potencia cero porque así se podrá observar en el analizador de espectro si la señal este orientada de forma adecuada o no; lo anterior se verifica al hacer el enlace. Cuando se comienza a aumentar de manera lenta el valor de potencia en el amplificador se observa en el analizador como va creciendo el nivel de la señal en el satélite y se podrá observar detalladamente el incremento de la señal para ver si se encuentra bien ajustada, en el caso de que se encuentre bien ajustada se aumentara el nivel de la potencia dando como resultado un buen ajuste de nivel; si no se hiciera de esta forma y se ingresaría el valor calculado directamente, al hacer el enlace esta podría encimar a otra señal dando como resultado problemas legales.

En los cálculos de enlace hay valores que no son del todo exactos como son el valor del ángulo de azimut y el valor de la potencia suministrada, en el primer caso se resta de cuatro a cinco grados para tener el valor adecuado, esto depende a la zona en donde se encontrará ubicada la antena y a la declinación magnética; el segundo caso es la potencia que mejor se ajuste para que la señal tenga un buen margen de enlace.

En la instalación de la antena se debe de hacer la observación si se va a quedar de manera definitiva o no (temporalmente), para determinar cómo se va a fijar la antena, si se va a quedar de forma definitiva es necesario hacer una base de concreto para que quede firme y no se la lleve el viento, si no es así solamente se atornilla. En el caso de la conexión de los dispositivos para recibir la señal, es necesario explicar que si no se va a utilizar el analizador de espectros no es indispensable utilizar el divisor de señal, en el caso de querer utilizar dos receptores se tiene que utilizar el divisor de señal, un receptor se debe conectar en el enchufe aterrizado a tierra y el otro conectado a una conexión sin alimentación.

A la hora de apuntar la antena es recomendable no estar en zonas de tráfico aéreo ya que constantemente se interrumpen las transmisiones, dando como resultado malos servicios de comunicación.

Si se va a hacer un enlace satelital en banda C y el lugar donde se va a instalar la antena es una zona de tráfico de señales, es necesario mandar a realizar un estudio de señales para observar si es conveniente hacer el enlace o no, por eso es más viable hacer un enlace en éste tipo de zonas en banda Ku ya que las frecuencias de las otras señales no interfieren con ésta banda.

En la evaluación económica es importante entender que el presupuesto va dependiendo al tipo de instalación y también a la calidad con la que se desee la información, si se deseara enviar información de televisión en alta definición el presupuesto cambiaría considerablemente porque los aparatos son más caros, si se desea tener una estación terrena transceptora es recomendable comprar antenas Fly Away, éstas incluyen todos los componentes que se necesitan para la instalación, incluyendo un sistema de localización automático para apuntar al satélite (GPS), también es recomendable que para transmitir información de muy alta calidad se usen antenas de mayor tamaño.

Apéndice

A.1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN BANDA C (TRANSPONEDORES ANGOSTOS)

SERVICIO		SCPC	TV DIGITAL	TV ANALOGICA	TELEAUDICIÓN
PARÁMETROS DE OPERACIÓN					
MIPBO	(dB)	7.5	1.0	10	9.0
MOPBO	(dB)	5.0	0.3	0.3	6.0
ATP	(dB)	10.0	10.0	10.0	10.0
DENSIDADES DE INTERFERENCIA					
INTERMODULACIÓN					
ASCENDENTE	(dB-Hz)	-106.0	-130.0	-130.0	-106.0
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-97.2	-130.0	-130.0	-94.8
SATÉLITE ADYACENTE					
ASCENDENTE	(dB-Hz)	-110.0	-112.0	-112.0	-106.5
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-15.0	-17.0	-17.0	-15.0
POLARIZACIÓN CRUZADA					
ASCENDENTE	(dB-Hz)	-112.5	-116.0	-116.0	-112.5
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-107.5	-107.0	-107.0	-107.5
CANALES ADYACENTES					
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0

A.2. PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN BANDA C (TRANSPONEDORES AMPLIOS)

SERVICIO		SCPC	SCPC/TV	TV/FDM	FDM
PARÁMETROS DE OPERACIÓN					
MIPBO	(dB)	7.5	3.8	2.9	4.2
MOPBO	(dB)	5.0	2.3	2.0	2.5
ATP	(dB)	10.0	10.0	10.0	10.0
DENSIDADES DE INTERFERENCIA					
INTERMODULACIÓN					
ASCENDENTE	(dB-Hz)	-106.0	-106.0	-130.0	-130.0
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-100.7	-130.0	-130.0	-130.0
SATÉLITE ADYACENTE					
ASCENDENTE	(dB-Hz)	-109.0	-117.0	-115.0	-115.0
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-16.0	-18.0	-21.0	-21.0
POLARIZACIÓN CRUZADA					
ASCENDENTE	(dB-Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-108.0	-109.0	-108.5	-115.0
CANALES ADYACENTES					
DESCENDENTE	(dB-Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0

A.3. PARÁMETROS DE OPERACIÓN BANDA Ku

SERVICIO	SCPC EN TP. LINEALIZADO	SCPC	TV DIGITAL A TP. COMP.	TV DIGITAL A MEDIO TP.	TELEAUDICIÓN DIGITAL
PARÁMETRO DE OPERACIÓN					
MIPBO (dB)	7.5	8.5	1.0	3.2	8.5
MOPBO (dB)	5.1	4.0	0.3	2.0	4.0
ATP (dB)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
DENSIDADES DE INTERFERENCIA					
INTERMODULACIÓN					
ASCENDENTE (dB-Hz)	-106.0	-106.0	-115.15	-108.3	-106.0
DESCENDENTE (dB-Hz)	CTE	CTE	CTE	CTE	CTE
SATÉLITE ADYACENTE					
ASCENDENTE (dB-Hz)	-120.0	-122.5	-115.15	-108.3	-122.5
DESCENDENTE (dB-Hz)	-12.0	-12.0	-16.7	-8.75	-12.0
POLARIZACIÓN CRUZADA					
ASCENDENTE (dB-Hz)	-112.6	-112.6	-115.5	-108.3	-112.6
DESCENDENTE (dB-Hz)	-106.5	-106.5	-115.5	-108.3	-106.5
CANALES ADYACENTES					
DESCENDENTE (dB-Hz)	-110.0	-110.0	-115.5	-108.3	-110.0

A.4. TABLA DE LA FLOTA SATELITAL NORTE Y SUR AMÉRICA

No. SAT	LONGITUD	SATÉLITE
01	61.5°W	EchoStar 3
		EchoStar 12
02	63.0°W	Telstar 14
03	65.0°W	Star One C1
04	70.0°W	Star One C2
05	72.0°W	Nahuel 1 (<i>incl. 1.9°</i>)
		AMC 6
06	72.5°W	DirecTV 1R
		EchoStar 6
07	74.0°W	Horizons 2
08	75.0°W	Brasilsat B3
09	77.0°W	EchoStar 4 (<i>incl. 1.2°</i>)
		EchoStar 8
10	78.0°W	Simón Bolívar
11	79.0°W	AMC 5
12	82.0°W	Nimiq 4
13	83.0°W	AMC 9
14	84.0°W	Brasilsat B4
15	85.0°W	AMC 16
16	85.1°W	XM 3
17	87.0°W	AMC 3
18	89.0°W	Galaxy 28
19	91.0°W	Nimiq 2
20	91.0°W	Nimiq 1
		Galaxy 17
21	92.0°W	Brasilsat B2 (<i>incl. 1.4°</i>)
22	93.1°W	Galaxy 25
23	95.0°W	Galaxy 3C
24	95.0°W	Spaceway 3
25	95.5°W	Sirius FM 5
26	97.0°W	Galaxy 19
27	99.0°W	Galaxy 16
28	99.2°W	Spaceway 2
		DirecTV 11
29	101.0°W	AMC 2
		AMC 4
		DirecTV 4S/8

No. SAT	LONGITUD	SATÉLITE
30	101.1°W	DirecTV 9S
31	102.8°W	Spaceway 1
		DirecTV 10
32	103.0°W	AMC 1
33	105.0°W	AMC 15
		AMC 18
34	107.3°W	Anik F1
		Anik F1R
35	110.0°W	DirecTV 5
		EchoStar 10
		EchoStar 11
36	111.1°W	Anik F2
37	113.0°W	SatMex 6
38	114.9°W	Solidaridad 2 (<i>incl. 1.4°</i>)
39	115.0°W	XM 4
40	116.8°W	SatMex 5
		AMC 21
41	119.0°W	Anik F3
		EchoStar 7
		DirecTV 7S
42	121.0°W	EchoStar 9/Galaxy 23
43	123.0°W	Galaxy 12
44	123.0°W	Galaxy 18
45	125.0°W	Galaxy 14
		AMC 21
46	127.0°W	Galaxy 13/Horizons 1
47	129.0°W	Galaxy 27
		Ciel 2
48	131.0°W	AMC 11
49	133.0°W	Galaxy 15
50	135.0°W	AMC 10
51	137.0°W	AMC 7
52	139.0°W	AMC 8
53	148.0°W	EchoStar 1
54	148.0°W	EchoStar 5

A.5. TABLA DE PARÁMETROS SATELITALES

CIUDAD	LATITUD	LONGITUD
ACAPULCO	16N50	99W52
AGUAS CALIENTES	21N53	102W18
AZCAPOTZALCO	19N28	99W12
CAMPECHE	19N50	90W32
CANCUN	21N05	86W46
CELAYA	20N33	100W49
CHIAPAS	17N01	94W45
CHIHUAHUA	28N37	106W06
CIUD. JUAREZ	31N44	106W28
CIUD. OBREGON	27N40	109W58
CIUDAD DE MEXICO	19N35	99W01
COATZACOALCOS	18N09	94W26
COLIMA	19N14	103W43
COYOACAN	19N21	99W10
CUERNAVACA	18N55	99W15
CULIACAN	24N45	107W30
DURANGO	24N02	104W42
ENSENADA	32N00	116W30
FRESNILLO	23N10	102W52
GOMEZ PALACIO	25N35	103W30
GUADALAJARA	20N40	103W20
GUADALUPE	31N23	106W06
GUANAJUATO	21N07	101W40
GUAYMAS	27N59	110W54
HERMOSILLO	29N00	110W57
HIDALGO	24N12	99W26
IRAPUATO	20N41	101W24
IXTACALCO	19N23	99W07
IXTAPALAPA	19N21	99W06
JALAPA ENRIQUEZ	19N32	96W53
JUCHITAN ZARAG.	16N27	95W03
LEON	21N08	101W41
LOS MOCHIS	25N42	109W00
MATOMOROS	25N52	97W30
MAZATLAN	23N14	106W27
MERIDA	20N58	89W37
MEXICALI	32N28	115W29
MONTERREY	25N42	100W20
MORELIA	19N43	101W12
NAUCALPAN	19N28	99W14
NAVOJOA	27N0	109W30
NUEVO LAREDO	27N29	99W30
OAXACA JUAREZ	17N03	96W42
OAZACA	16N20	98W03
PAPANTLA OLARTE	20N30	97W15
POZA RICA HIDA.	20N30	97W30
PUEBLA	19N02	98W11
QUERETARO	20N37	100W25
REYNOSA	26N05	98W21

SALAMANCA	20N36	101W10
SALTILLO	25N24	100W59
SAN L.POSTOSI	22N08	100W58
SONORA	28N50	111W33
TAMPICO	22N14	97W51
TAPACHULA	14N55	92W20
TAXCO DE ALARCON	18N33	99W36
TECHUANTEPEC	16N20	95W14
TEOTITLAN	18N07	97W04
TEPIC	21N32	104W53
TIJUANA	32N32	117W02
TALNEPANTLA C.	18N59	99W01
TALPAN	19N17	99W10
TLAXCALA	19N44	97W43
TOLUCA	19N17	99W40
TORREON	25N32	103W26
TUXTEPEC	18N06	96W09
URUAPAN	19N25	101W56
VERACRUZ	19N12	96W08
VICTORIA	24N30	104W39
VILLAHERMOSA	17N59	92W55
XOCHIMILCO	19N05	99W06
ZACATECAS	22N49	102W34

Glosario

Código: Representa símbolos de la información, es decir, los números, vocales, consonantes, símbolos especiales, etc. Se representa por medio de un arreglo de símbolos acordado previamente.

Comunicación: Es la transmisión de la información entre dos puntos uno llamado origen y otro llamado destino a través de un canal de transmisión.

Decibelio (dB): Es una unidad logarítmica para representar altas ganancias o atenuaciones de señal.

Densidad de Flujo a Saturación (DFS): Es la cantidad de flujo de energía de la señal por unidad de área que incide en la antena del satélite, necesaria para saturar el amplificador TWT (Travelling Wave Tube) del satélite, este es un dato de las especificaciones del fabricante del satélite.

Eb/No: Relación de energía por bit a densidad espectral de ruido en watts por hertz.

Estación terrestre: Estación situada en un punto fijo en la tierra destinada a establecer comunicación con una o varias estaciones espaciales, puede ser transmisora, receptora o transceptora.

FEC: Es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original. Se utiliza en sistemas sin retorno o sistemas en tiempo real donde no se puede esperar a la retransmisión para mostrar los datos. Este mecanismo de corrección de errores se utiliza por ejemplo, en las comunicaciones vía satélite, en las grabadoras de DVD y CD o en las emisiones de TDT para terminales móviles.

Figura de merito (G/T): Es un indicador de la sensibilidad del sistema de recepción. Se define como la relación de la ganancia de la antena a la recepción con respecto a la temperatura de ruido del sistema a la recepción; sus unidades normalmente son dBi/K.

Frecuencia intermedia (FI): Es la frecuencia de conversión de valor fijo, utilizada en un receptor. La FI normal es de 70 MHz, antes de la etapa de detección vídeo. Igualmente se emplea este término en recepción para designar las frecuencias convertidas que van desde 950 a 2050 MHz. Es la frecuencia de referencia que permite "demodular" una señal radioeléctrica en algunos receptores.

Full dúplex: El funcionamiento duplex total, o simplemente duplex, puede hacer transmisiones en ambas direcciones al mismo tiempo. A veces, a los sistemas duplex se les llama simultáneos de dos direcciones, duplex completos o líneas bilaterales o en ambos sentidos.

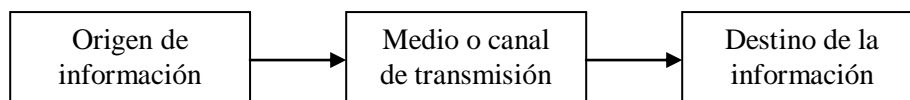
MIBO: Cantidad de potencia en dBW que se le resta al transpondedor de su punto de saturación para operación en modo de multiportadoras (región lineal del transpondedor).

MOBO: Potencia en dBW que se le resta a la potencia de salida del transpondedor debido a la transmisión de portadoras múltiples para su operación en un punto óptimo.

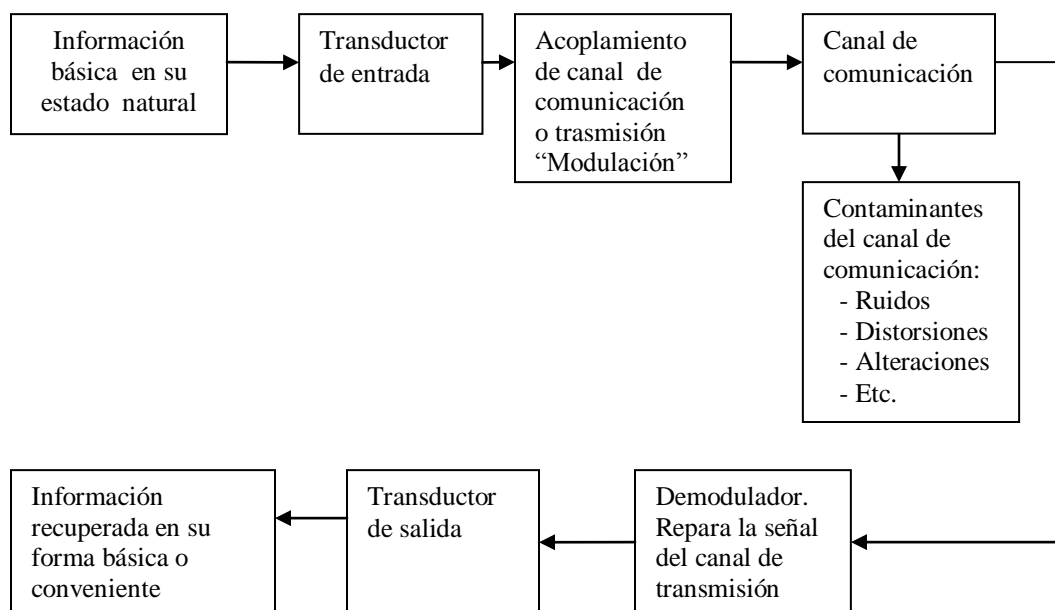
Microondas: Se denominan microondas a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que supone un período de oscilación de 3 ns (3×10^{-9} s) a 3 ps (3×10^{-12} s) y una longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm.

El rango de las microondas está incluido en las bandas de radiofrecuencia, concretamente en las UHF (ultra-high frequency, 0.3 – 3 GHz), SHF (super-high frequency, 3 – 30 GHz) y EHF (extremely high frequency, 30 – 300 GHz). Otras bandas de radiofrecuencia incluyen ondas de menor frecuencia y mayor longitud de onda que las microondas. Las microondas de mayor frecuencia y menor longitud de onda se denominan ondas milimétricas.

Modelo básico de comunicación:



Modelo completo de un sistema de comunicación:



Onda corta: También conocida como SW (del inglés *shortwave*) o HF (high frequency) es una banda de radiofrecuencias comprendidas entre los 2300 y los 29999 kHz en la que transmiten las emisoras de radio internacionales para transmitir su programación al mundo y las estaciones de radioaficionados. En estas frecuencias las ondas electromagnéticas, que

se propagan en línea recta, rebotan a distintas alturas de la ionosfera lo que permite que las señales alcancen puntos lejanos e incluso dan la vuelta al planeta.

La radio de onda corta es similar a las estaciones de onda media local (AM) que se puede oír normalmente, sólo que la señal de onda corta viaja más distancia.

Oscilador: Es un sistema capaz de crear perturbaciones o cambios periódicos en un medio, ya sea un medio material (sonido) o un campo electromagnético (ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, rayos X, rayos gamma, rayos cósmicos).

Potencia isotrópica radiada efectivamente (PIRE): Es el resultado de la combinación de la potencia del transmisor con la ganancia de la antena en una dirección determinada: hacia el satélite o del satélite hacia la estación receptora. Se expresa en dBW.

Protocolo: Son las reglas con las que se van a manejar los símbolos.

Radio (entendida como radiofonía o radiodifusión): Es una tecnología que posibilita la transmisión de señales mediante la modulación de ondas electromagnéticas. Estas ondas no requieren un medio físico de transporte, por lo que pueden propagarse tanto a través del aire como del espacio vacío.

Repetidor: Es un dispositivo electrónico que recibe una señal débil o de bajo nivel y la retransmite a una potencia de nivel más alto, de tal modo que se puedan cubrir distancias más largas sin degradación o con una degradación tolerable.

Ruido térmico: Ruido producido por el movimiento aleatorio de los electrones tanto en un medio de transmisión como en los equipos de comunicación.

Satélite: Cuerpo que gira alrededor de otro y cuyo movimiento está determinado por la fuerza de atracción de éste último. Para las comunicaciones es un artefacto puesto alrededor de la tierra como repetidor de señales de radiofrecuencia.

Semiduplex: Se denomina semiduplex a un modo de intercambio de datos entre dos terminales, en la que la transmisión se lleva a cabo de manera alternativa. Esto es, mientras una terminal está transmitiendo el otro solo puede recibir y viceversa.

Señal: Es un conjunto de ondas propagadas a lo largo de un canal de transmisión que sirven para actuar sobre un dispositivo receptor.

Señal analógica: Es aquella función continua en la que es variable su amplitud y periodo (representando un dato de información) en función del tiempo.

Señal digital: Una señal es digital cuando las magnitudes de la misma se representan mediante valores discretos en lugar de variables continuas.

Señal moduladora: Es una señal de tipo analógica o digital que contiene información para ser procesada.

Señal portadora: Típicamente es una señal senoidal generada internamente por un modem u otros dispositivos.

Tasa de bits erróneos (BER): Relación del número de bits erróneos al total de bits transmitidos en un determinado intervalo de tiempo.

Temperatura de ruido: Temperatura provocada por el ruido térmico. Cuando esta afecta a un rango de frecuencias dado, el poder del mismo es proporcional a la temperatura absoluta y al rango de frecuencias en cuestión. La temperatura de ruido está referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena que corresponda a la potencia de ruido de radiofrecuencias que produce el ruido total observado en la salida del enlace por satélite, con exclusión del ruido debido a las interferencias provocadas por los enlaces adyacentes que utilizan otros satélites y por los sistemas terrestres.

Transpondedor: Parte esencial del subsistema de comunicaciones de un satélite que tiene como función principal la de amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla nuevamente a una estación terrena ubicada dentro de su área de cobertura.

Velocidad de transmisión (Data rate): Define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales.

Velocidad de Simbolo (symbol rate): Es la velocidad con los que son transmitidos y recibidos los datos de una señal.

VHF (frecuencia muy alta): Es la banda del espectro de radio que se extiende desde 30 MHz a 300 MHz. Las longitudes de onda límite correspondientes a estas frecuencias es de 10 metros y 1 metro.

Bibliografía

Fundamentos de los Sistemas Modernos de Comunicación
Hildeberto Jardon Aguilar
Ed. Alfaomega

Comunicaciones Inalámbricas
David Roldan Martínez
Ed. Alfaomega Ra- Ma

Manual de Telecomunicaciones
José Ma. Huidobro
Ed. Alfaomega Ra – Ma

Señales y Sistemas
Haykin, Van Veen
Ed. Limusa Wiley

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas
Wayne Tomasi
Ed. Pearson Educación

Redes de Comunicaciones
José Ma. Huidobro
Ed. Paraninfosa

Curso de Cálculo de Enlace para Señales Moduladas Digitalmente en las Bandas C y Ku
Telecomunicaciones de México (Telecomm).

Apuntes de Sistemas de Comunicaciones 1
Ing. José Luis Pérez Báez, FES-Aragón

Guía practico de antenas
Kathrein Mobilcom Brasil Ltda.
Rua Marcilio Dias, 138

<http://www.satmex.com.mx/clientes/glosario.php>

http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura

<http://docentes.uacj.mx/vhinostr/clases/cdigitales/Unidad%20II%20modulacion%20digital.pdf>

<http://hosting.udlap.mx/profesores/luisg.guerrero/Cursos/IE445/Apuntesie445/capitulo5home.htm>

<http://www.satmex.com.mx>

<http://www.eveliux.com/mx/via-satelite-historia-frecuencias-orbitas-estaciones->

terrenas.php

http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_para%20B3lica

[http://es.wikipedia.org/wiki/Radio_\(medio_de_comunicaci%20B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Radio_(medio_de_comunicaci%20B3n))