



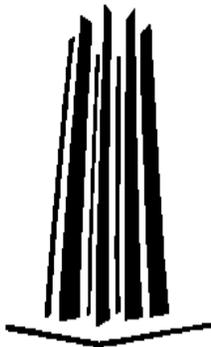
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"

TRANSMISIÓN DE AUDIO Y VIDEO
VÍA SATÉLITE

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:
EMBARCADERO MIGUEL HERIBERTO

ASESOR: ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO



San Juan de Aragón, México

Septiembre de 2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis padres que me dieron la vida, los principios, educación y cariño; a ustedes por estar siempre que los he necesitado e inculcarme el deseo de superación y madurez para hacer de mi lo que ahora soy.

A ti que llegaste cuando
menos te esperaba para
cambiar mi vida, para
hacerme tan feliz, darme
animo y apoyarme para
cumplir una más de mis
metas junto a ti... Mi esposa.

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón y a los profesores que integraron mi formación académica y desarrollo intelectual, a todos ustedes por compartir su sabiduría con estudiantes como yo.

Mi más sincero agradecimiento
A T E N T A M E N T E
Su hijo, tu esposo y estudiante.

JUSTIFICACIÓN.

Las comunicaciones en la actualidad han tomado un papel muy importante conforme al amplio desarrollo tecnológico, ya que ejercen gran influencia en distintos campos de la vida moderna como en la educación, entretenimiento, negocios, industrias, etcétera; facilitándonos la vida día con día al permitirnos enlazar desde diferentes puntos en un intervalo de tiempo pequeño, transmitiendo y recibiendo señales que contienen información de cualquier carácter; en fundamento, para el desarrollo social y económico del país. Por lo expuesto anteriormente se presenta el tema de “Transmisión de audio y video vía satélite”.

OBJETIVO.

Proporcionar una introducción a la teoría de las telecomunicaciones con énfasis en el estudio de los principios particulares en que se basa el funcionamiento de los sistemas de transmisión de audio y video satelital, en forma simple, comprensible y de fácil acceso para casos prácticos.

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

1.1	Concepto e historia de las comunicaciones vía satélite	1
1.2	Estructura básica de un sistema de comunicación vía satélite	4
1.3	Clasificación de los sistemas de comunicación vía satélite	11
1.4	Satélites y subsistemas	16
1.5	Puesta en órbita	27

CAPITULO II

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN VÍA SATÉLITE

2.1	Propagación de ondas electromagnéticas	34
2.2	Modulador, convertidor ascendente y amplificadores	37
2.3	Recepción de TV satelital	43
2.4	Transmisión de TV satelital	45
2.5	Servicios fijos y móviles de comunicación satelital	46
2.6	Calculo de enlace satelital	47

CAPITULO III

ANTENAS Y ESTACIONES TERRENAS

3.1	Tipos de antenas	61
3.2	Estaciones terrenas fijas	65
3.3	Estaciones terrenas móviles	69
3.4	Mantenimiento de estaciones terrenas	71

CAPITULO IV

INTERFERENCIAS EN LAS COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

4.1	Análisis y tipos de interferencias	77
4.2	Ruido externo u oscilaciones interferentes	82
4.3	Ruido interno o propio	87
4.4	Factor de ruido	90
4.5	Filtros para los sistemas de comunicación	94

CAPITULO V

INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE TRANSMISIÓN VÍA SATÉLITE

5.1	Ambiente radioeléctrico y línea de vista	102
5.2	Nivelación de la antena y sistema de tierras	103
5.3	Apuntamiento y aislamiento	105
5.4	Ajuste de potencia a la transmisión	108

CONCLUSIONES

FUENTES DE CONSULTA

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

1.1 Concepto e historia de las comunicaciones vía satélite

Las comunicaciones por satélite han alcanzado en la actualidad una etapa muy interesante en su desarrollo. Tradicionalmente, los satélites han sido utilizados para brindar el servicio de telecomunicaciones internacionales transoceánicas a través de enormes antenas conectadas a las redes nacionales de comunicaciones. Han ocurrido cambios como la introducción de antenas más pequeñas para servicios nuevos tales como la recepción directa de televisión, de sistemas de negocios con aperturas muy pequeñas, y de terminales móviles para comunicaciones marítimas, aeronáuticas y también terrestres.

Uno de los resultados más fascinantes y notables obtenidos a partir de los programas espaciales es la tecnología de los satélites artificiales, la llegada de estos aparatos electrónicos complejos ha modificado visiblemente la forma de vida de la mayor parte de la población del mundo y quizá de toda ella aunque sea en forma indirecta. Gracias a ellos conocemos con más precisión los recursos naturales de la Tierra y los fenómenos meteorológicos, las distancias entre ciudades y los países se han acortado y ahora pueden intercambiar todo tipo de información casi instantáneamente, y más allá de las capas atmosféricas podemos observar y comprender mejor el universo.

En 1945 Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en la órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la Tierra parecería que no se moviesen, como si estuviesen colgados en el cielo, los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas como la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con solo tres satélites colocados en la órbita geostacionaria ya que la Tierra gira sobre su propio eje completando una vuelta cada 24 horas como se muestra en la Figura 1.1.

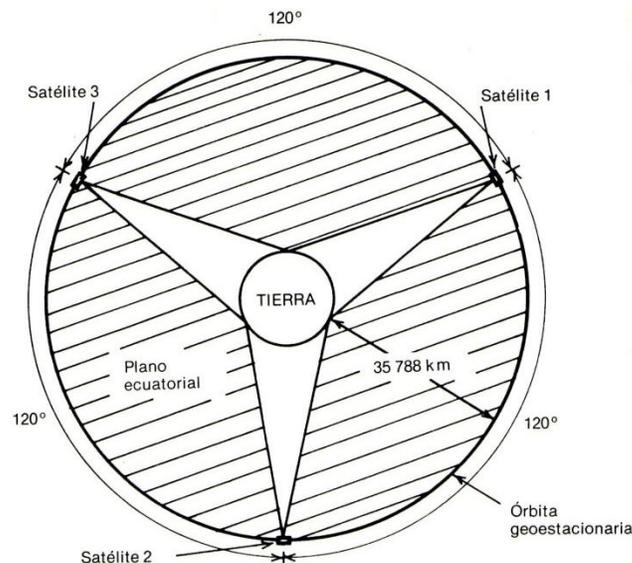


Figura 1.1
Cinturón de Clarke.

Si se coloca a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese en el plano ecuatorial y si el satélite también completa una vuelta en 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la Tierra se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la Tierra, es decir geoestacionario. En primer lugar el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la Tierra; además para que no perdiese altura poco a poco y completar una vuelta cada 24 horas debía estar aproximadamente 36 000 Km de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener velocidad constante de 3 075 m/s siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra como se muestra en la Figura 1.2.

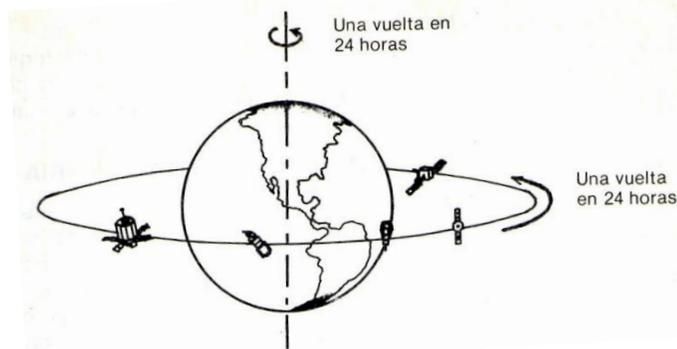


Figura 1.2 Órbita geoestacionaria.

Cabe mencionar que en aquel entonces todavía no se lanzaba ni siquiera el primer satélite artificial de la Tierra, ya no se diga en órbita geoestacionaria a 36 000 km de altura sobre el nivel del mar.

En el año 1954 la Marina de los Estados Unidos transmitió exitosamente los primeros mensajes sobre la ruta Tierra-luna-Tierra, estableciendo un servicio entre Washington, D.C. y Hawái, ya en los años 40's se había comprobado que la Luna (satélite natural de la Tierra) funciona como "reflector pasivo", simplemente rebota una señal de un lugar a otro como se muestra en la Figura 1.3.

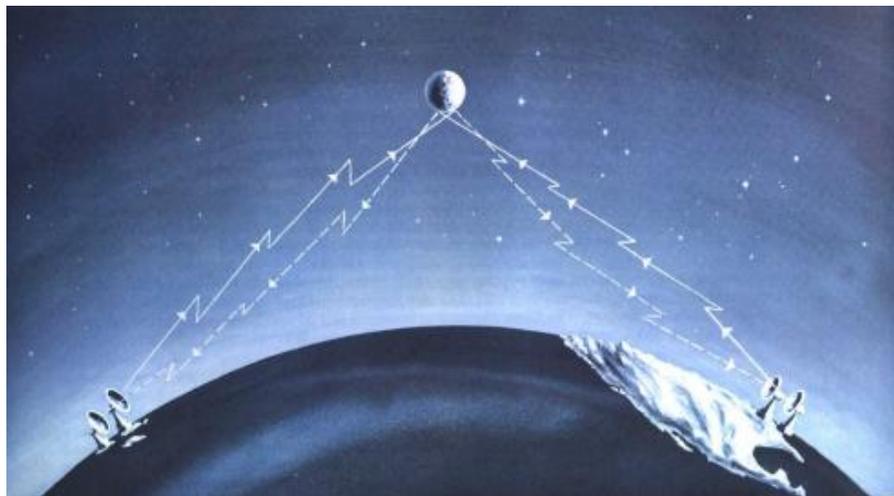


Figura 1.3 Satélite natural.

Pero llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957 la Unión Soviética lanzó el Sputnik 1 y después de varias pruebas con algunos otros satélites en esos primeros años al fin se colocó en órbita el primer satélite artificial geostacionario del mundo, capaz de recibir, amplificar y retransmitir información desde y hacia estaciones terrestres, dicho satélite mantuvo envío de información por 21 días.

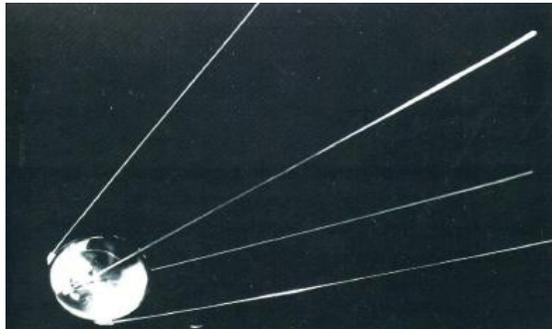


Figura 1.4 Satélite Sputnik 1.

En 1958 la NASA lanzó el Score un satélite que pesó 75 kg. Llevaba grabado el mensaje navideño del Presidente Eisenhower, debido a esto se le conoció como satélite de “repetidor retardado” recibía señales, las almacenaba y posteriormente las enviaba.

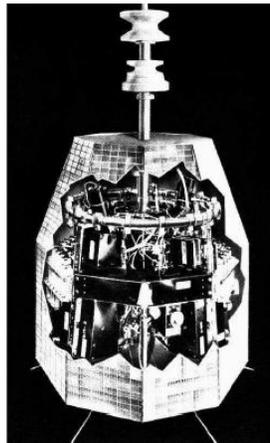


Figura 1.5 Satélite Score.

En 1960 la NASA, Bell Telephone Laboratories y Jet Propulsion Laboratory, lanzan el satélite Echo, era un globo de plástico de 30 m de diámetro, con una capa de aluminio. Lleva a cabo la primera transmisión trasatlántica.

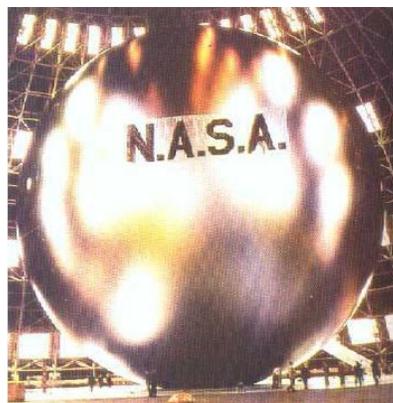


Figura 1.6 Satélite Echo.

En 1959 Harol Rosen (padre de los satélites geoestacionarios) de la compañía Hughes Aircraft crea el SYNCOM primer satélite geoestacionario. Poco más tarde, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Índico), intercomunicando al mundo; era el año de 1968 y los sueños de Clarke se habían convertido en una realidad, 23 años después de que había publicado sus ideas.

La órbita en cuestión recibe el nombre de órbita geoestacionaria en justo reconocimiento a su promotor. En la actualidad, esta es la órbita más congestionada alrededor de la Tierra; en ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones.

Gracias a las leyes de Isaac Newton se sabe que la fuerza de atracción entre un cuerpo y la Tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que hay entre ambos y directamente proporcional al producto de sus masas; así mismo, que si a un cuerpo se le aplica una acción, entonces este responde con una reacción igual y de sentido contrario, oponiéndose a la acción original. Estas deducciones de Newton que datan del siglo XVII hacen posible que el hombre actual lance al espacio vehículos de carga (cohetes lanzadores) con satélites artificiales en su interior y que estos últimos conserven su posición orbital en el espacio una vez que han llegado ahí.

Todos los sistemas satelitales hacen uso de los principios anteriores y de muchos otros, como por ejemplo las leyes de Kepler, que explican el movimiento de los planetas alrededor del Sol, pues los satélites se pueden interpretar en un sentido figurado como si fuesen planetas y la Tierra como un Sol, aunque todo a escala mucho menor. En teoría el número de tipos de órbita en los que un satélite se puede colocar alrededor de la Tierra es infinito, la más codiciada y utilizada de las órbitas posibles es la geoestacionaria.

1.2 Estructura básica de un sistema de comunicación vía satélite

Una red de telecomunicación se establece con el propósito de transmitir y recibir señales de características específicas entre un conjunto determinado de estaciones, generalmente distantes entre sí. Un sistema de satélites o un satélite único puede emplearse para permitir que se establezca a través de él una sola red o un número indeterminado de redes de telecomunicación independientes.

Los satélites de comunicación para servicios múltiples y en buena medida los diseños para un servicio específico tienen la flexibilidad suficiente para permitir la operación de redes con características muy diversas, usualmente utilizando en forma exclusiva la capacidad de comunicación de los mismos en anchura de banda y potencia que requiera cada una de ellas, en una porción de la parte del espectro de frecuencias que tienen asignada.

Establecer un sistema comercial para servicios de comunicación por satélite implica un proyecto de gran magnitud que en el momento actual requiere de evaluación de la demanda potencial del mercado y de la cada vez más amplia competencia, no solo de otros medios de comunicación, si no de otros sistemas por satélite, análisis de las tendencias de desarrollo de los servicios, de la madurez de las tecnologías, de las opciones tecnológicas viables y de las fuentes de recursos financieros, así como de un diseño adecuado del plan de negocios, entre otras cuestiones.

Un sistema de comunicación por satélite consiste de uno o más satélites, uno o más centros de control de los mismos y estaciones terrenas que se comunican entre sí a través de aquellos. Un sistema constituido por un solo satélite geoestacionario, un centro de control y un número indeterminado de estaciones terrenas como se ilustra en la figura 1.7

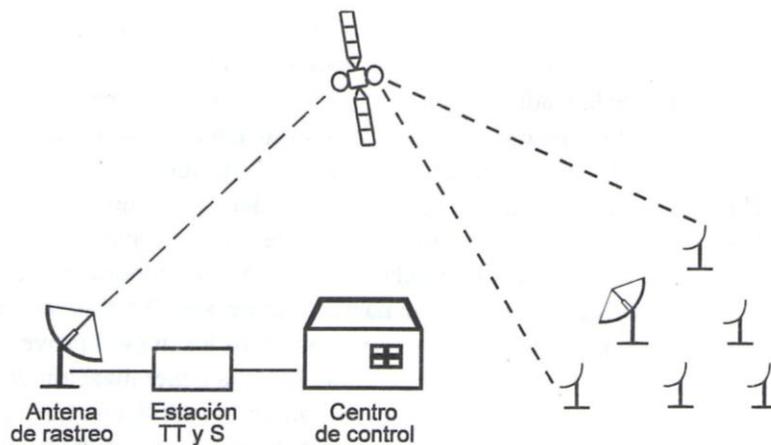


Figura 1.7 Partes constitutivas de un sistema de comunicación por satélite.

El satélite recibe señales de las estaciones terrenas, las convierte y las transmite a la zona o zonas de cobertura. Otras funciones incluyen la recolección de datos de su propio funcionamiento y su transmisión al centro de control mediante subsistema de telemetría y el control autónomo de diversas partes de los demás subsistemas. En un sistema más grande, si lo determinan los requisitos de diseño, puede tener comunicación directa con otros satélites.

La función de las estaciones terrenas de tráfico es transmitir, recibir señales de comunicación de o hacia otras estaciones a través del satélite. También pueden existir estaciones terrenas de control de red que principal o exclusivamente reciban y envíen señales de control para permitir la comunicación entre otras estaciones de una misma red. Las estaciones de telemetría, telemando y seguimiento de los centros de control del sistema intercambian con los satélites señales que no están destinadas a otras estaciones. Por último, hay estaciones terrenas que por razones de operación, de economía o por otras circunstancias combinan algunas de las funciones mencionadas.

Un sistema de comunicación que opera por medio de un satélite tiene un segmento espacial y un segmento terreno. El segmento espacial está formado por el satélite y su centro de control, mientras que el conjunto de estaciones terrenas de la red que se comunican entre sí y a través de las cuales es posible la conexión con las redes terrenales, constituye el segmento terreno.

Los sistemas de comunicación por satélite pueden ser domésticos (nacionales) para servicio de un solo país, o internacionales, que incluyen los de servicio global a varios continentes y los regionales para proporcionar servicio a un número restringido de países, aparte del aspecto de la estructura de la propiedad del sistema, en el que en los últimos años se han abierto diversas opciones de participación en los proyectos de sistemas globales.

Por medio de los sistemas de satélites se pueden establecer servicios públicos completos hasta el usuario final como es el caso de los de televisión directa a los hogares, servicios públicos apoyados parcialmente en redes terrenales de otros servicios como el de servicio móvil para flotillas de transporte terrestre, servicios privados totalmente independientes de otros servicios de telecomunicación como en el caso de redes privadas de voz y datos y servicios de apoyo a otros proporcionados principalmente por medio de redes terrenales como es el caso de la distribución de señales para televisión por cable y los enlaces de baja capacidad para telefonía pública en el medio rural.

La red más pequeña puede contar con solo dos estaciones terrenas y la más grande con millones de ellas. Sin embargo, una red pequeña puede ocupar más capacidad de un satélite que una red mucho mayor en número de estaciones debido al tipo de señal que utilice y a la magnitud y tipo de tráfico que maneje.

Desde la perspectiva del usuario generalmente la comunicación obedece a dos tipos de necesidades: de intercambio de información entre un punto y otro, por ejemplo en forma de diálogo de voz o de comunicación interactiva de datos, que puede multiplicarse entre un punto y cada uno de otros puntos de la red, o la de distribución de una misma señal de un punto hacia muchos puntos.

Para satisfacer dichas necesidades existen dos formas básicas en que las estaciones terrenas de una red pueden conectarse entre sí a través de un satélite: de punto a punto y de punto a multipunto. Cada forma de conectividad es característica de uno o más tipos de servicios o aplicaciones.

Punto a punto

Esta forma de conectividad permite la comunicación entre dos estaciones, como se ilustra en la Figura 1.8, en este caso las dos estaciones participantes pueden intercambiarse tráfico simultáneamente si se requiere, formando un circuito de A hacia B y el semicircuito de B hacia A. Cada estación transmite en una frecuencia diferente al satélite y recibe en otra que corresponde a la transposición de la

frecuencia de transmisión de la otra estación realizada en el repetidor del satélite que operan.

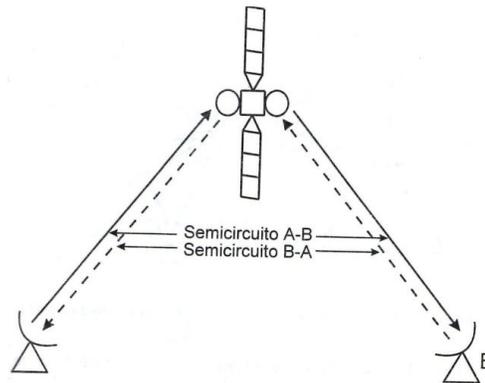


Figura 1.8
Comunicación punto a punto.

Para comunicar mas estaciones un enfoque simple consiste en establecer circuitos punto a punto de cada estación a las demás con que se requiera, con la ventaja de que cada estación puede operar todos los circuitos que necesite con las otras, ya que su antena, actuando como un elemento común aunque solo pueda enviar y recibir señales en una dirección precisa, apuntara únicamente hacia el satélite.

En esta forma de conectividad de conectividad punto a punto por medio de enlaces independientes las redes terrenales pueden ser muy competitivas y técnicamente más convenientes que por satélite, de la forma espectral para el trafico de alta capacidad entre pocos sitios, aunque puede tener la desventaja de que la comunicación deba pasar por múltiples estaciones de repetición.

Un caso común de comunicación punto a punto corresponde a una estación maestra desde la cual se establecen varios enlaces de este tipo con otras estaciones remotas, cada una de las cuales se comunica solo con la maestra. Los enlaces de la maestra con cada estación remota son independientes y les permite cursar simultáneamente tráfico bidireccional utilizando frecuencias diferentes para cada uno a fin de evitar interferencias entre ellos. Esta configuración se denomina en estrella y se ilustra en la Figura 1.9.

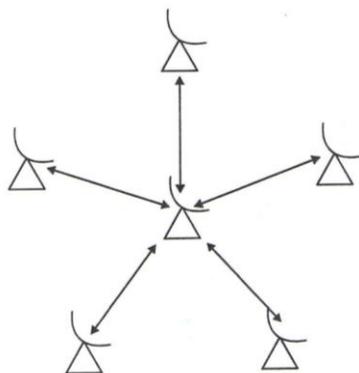


Figura 1.9 Red en estrella

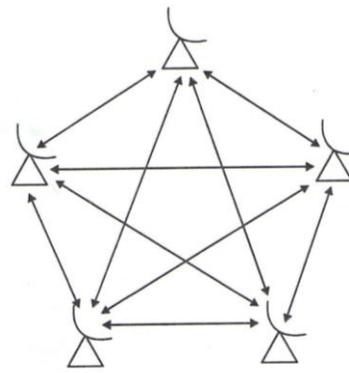


Figura 1.10 Red en malla

La configuración de la comunicación en estrella puede lograrse así mismo por otras tecnologías que sin utilizar circuitos dúplex independientes con frecuencias diferentes para cada enlace también logran evitar que las estaciones de la red se interfieran entre si y que dependiendo de las características del trafico, pueden ser más eficientes al reducir la capacidad total de satélite requerida para la red. Se denomina acceso múltiple al conjunto de las tecnologías que permiten lograr dicho propósito, que también son útiles para otras formas de configuración o encaminamiento de la comunicación, como el caso extremo en que cada una de las estaciones requiere comunicación con todas las demás, denominada configuración en malla o Trellis que se ilustra en la Figura 1.10. Son muy comunes también las redes que combinan parcialmente las configuraciones estrella y malla. La tecnología de acceso múltiple empleada en cada caso debe permitir la forma de conectividad requerida por el usuario.

Punto a Multipunto

Los satélites tienen la ventaja inherente de permitir que se transmita la misma señal desde una estación de una red a un número ilimitado de estaciones receptoras dentro de la zona de cobertura del enlace descendente. En este caso, todas las estaciones terrenas de destino reciben la señal en la misma frecuencia al no haber en la red otras señales que se requiera recibir selectivamente o que puedan interferirla. La Figura 1.11 ilustra esta forma de conectividad.

Dentro de los límites de operación establecidos, a mayor potencia enviada por la estación transmisora en dirección del satélite, mayor será la recibida por las antenas receptoras y menor el diámetro requerido de sus reflectores para obtener una buena recepción de la señal, por lo que para un alto número de puntos de recepción puede ser conveniente aumentar la potencia de transmisión y reducir el tamaño de las antenas receptoras para reducir el costo de estas. Este procedimiento permite un intervalo de variación de las potencias muy limitado debido a la proporción relativamente rígida que tienen los recursos de potencia y anchura de banda de los transpondedores, por lo que para los servicios en que quiera llevarse a un mayor extremo deben emplearse satélites o transpondedores especialmente diseñados para alta potencia.

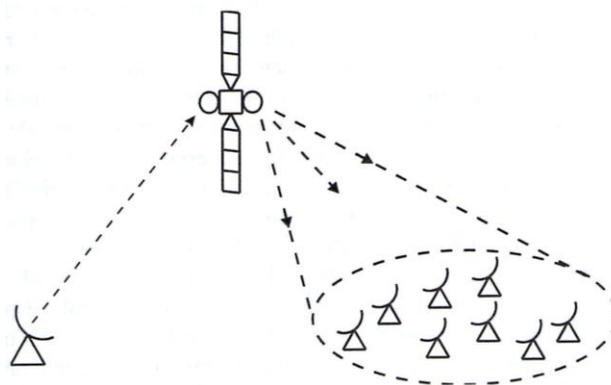


Figura 1.11 Comunicación punto a multipunto.

Esta forma de conectividad en general tiene mayor dificultad, mayor costo y menor fiabilidad de operación en las redes terrenales de amplia cobertura, ya que aun en el extremo menos costoso en que se utilice solo una ruta de la red básica sin ramificaciones, requieren equipos repetidores intermedios y derivaciones de la señal hacia cada uno de los puntos terminales a lo largo de aquella, reduciendo la seguridad de la comunicación.

En la Figura 1.12 nos ilustra un sistema de comunicación satelital, constituido por una estación terrena transmisora, medio de propagación, satélite y una estación terrena receptora, para servicio de TV satelital.

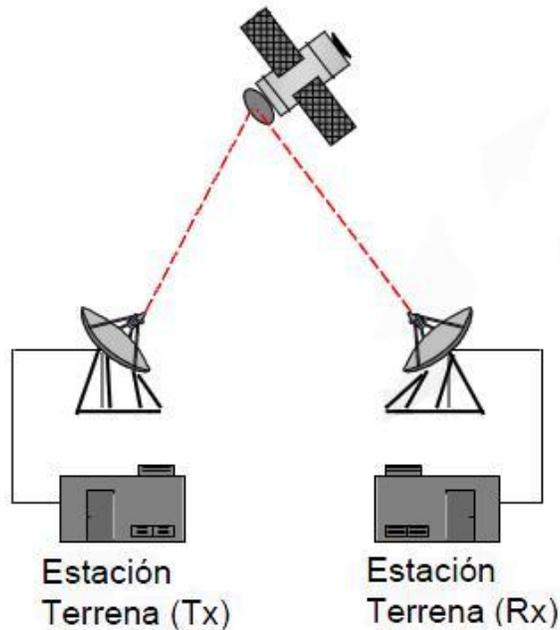


Figura 1.12 Sistema de comunicación vía satélite.

A continuación se describe brevemente un sistema de transmisión satelital en banda C en el rango de frecuencia ascendente de 5.925GHz–6.425GHz y banda Ku 14GHz-14.5GHz observándose que ambas frecuencias tienen un ancho de banda de 500 MHz. Se tiene la señal de audio y video en banda base, ya sea del usuario, o de un generador para pruebas de niveles, entra a nuestro encoder/modulador el cual nos entrega la señal modulada en FI con requerimientos de los parámetros programados inicialmente para este caso: un código de protección llamado FEC (Corrección de Errores), Symbol Rate (Velocidad de Símbolos), generando un Data Rate (Ancho de Banda), la modulación de tipo QPSK, FI (Frecuencia Intermedia) de 70 MHz; todo esto según las necesidades del usuario donde implica la calidad de transmisión.

La señal de FI que nos entrega el encoder es enviada a otro dispositivo llamado Up Converter (Convertidor de Ascendente) en donde se configura la frecuencia en la que se desea realizar la transmisión, dicha frecuencia en banda C de subida es

conducida hacia un HPA (Amplificador de Alta Potencia) donde se amplifica la señal y es enviada en microondas a través de la guía de onda rectangular, hasta la antena transmisora donde se encuentra el polarizador el cual nos permite enviar la señal al satélite en horizontal o vertical.

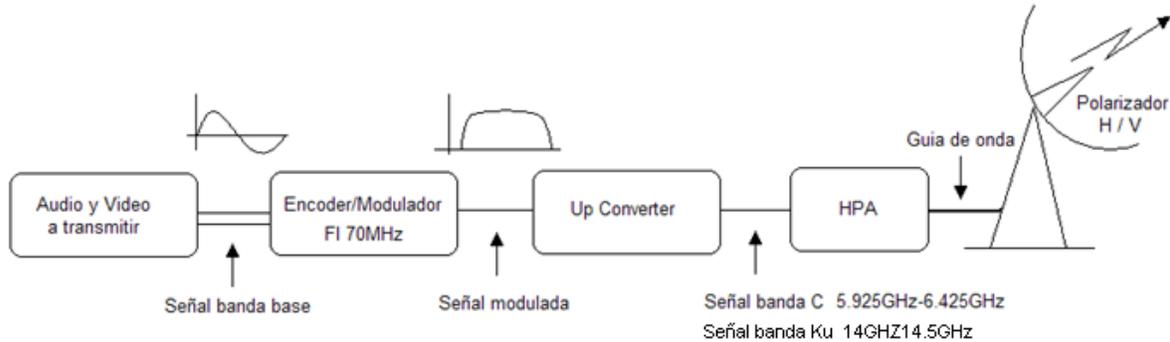


Diagrama a bloques de un sistema de transmisión satelital banda C y Ku.

En cuanto al satélite se ubica en la órbita geoestacionaria aproximadamente a 36 000 Km de la Tierra y su periodo es de 24 horas, tiene la función de recibir y volver a transmitir las señales enviadas desde las antenas transmisoras, se compone básicamente de reflectores donde recibe las señales pasa por un LNA (Amplificador de Bajo Ruido), Transpondedores donde se ubican las portadoras de acuerdo a la frecuencia de trabajo, un oscilador local para banda C que traslada la frecuencia 2.225 GHz y para banda Ku 2.300 GHz, la amplifica mediante un HPA (Amplificador de Alta Potencia) y la envía hacia la Tierra; dicho espectro del satélite se observa dependiendo a la cobertura, posición del satélite y de la ubicación de la estación terrena.

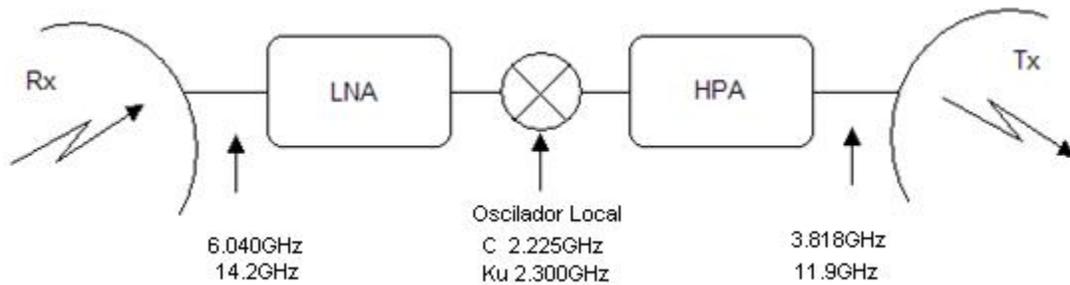


Diagrama a bloques de un satélite banda C y Ku.

En la parte receptora, la señal que envía el satélite dentro del rango de 3.7GHz-4.2GHz para banda C y para Ku 11.7GHz-12.2GHz, llega a la antena se refleja en el plato y se concentra en el LNB (Bloque de Bajo Ruido), se envía al analizador de espectros para observar las portadoras, al decoder/demodulador, donde se programa la frecuencia que se desea monitorear, Symbol Rate, FEC y el oscilador local.

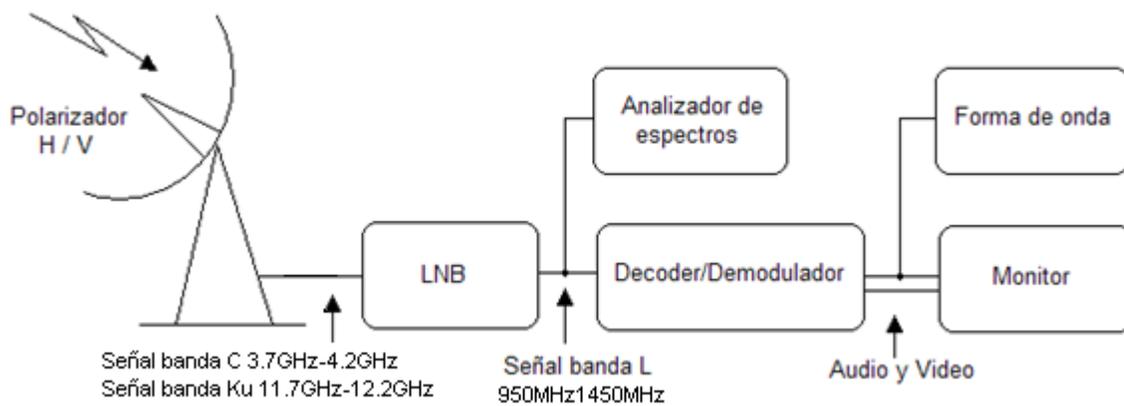


Diagrama a bloques de un sistema de recepción satelital banda C y Ku.

Como se observa en los diagramas la señal original banda base transmitida debe ser igual a la señal recibida en el receptor sin alteraciones, solo con retardo en el tiempo o mejor dicho con delay, por el trayecto de la señal Tierra-satélite y satélite-Tierra.

1.3 Clasificación de los sistemas de comunicación vía satélite

El avance de la tecnología nos ha permitido tener diferentes tipos de satélites que se clasifican según su uso y aplicación, los más comunes son:

DBS y DTH:

Son satélites diseñados específicamente para proporcionar los servicios de canales de televisión directo a casa por medio de una antena pequeña instalada en cada hogar y dependiendo de las técnicas de compresión, un satélite de este tipo puede transmitir más de 200 canales de televisión simultáneamente.

Los servicios de video representan las aplicaciones de los satélites que han tenido mayor crecimiento en los últimos años, abarcando actividades de entretenimiento e información, negocios, educación y capacitación y en forma incipiente en otras áreas.

La mayoría de las señales de televisión actualmente se transmiten por sistemas regionales y nacionales para cobertura nacional a tiempo completo y en los últimos años ha estado evolucionando una tendencia hacia el desarrollo masivo de los servicios de televisión directa a los hogares de cobertura nacional y regional. Estas señales, salvo circunstancias especiales como en el caso de requerirse su recepción en zonas cercanas a los polos, se transmiten por medio de satélites geoestacionarios. Debido a sus múltiples ventajas, en los últimos pocos años se inicio la digitalización de las señales de televisión, que se acentuara en forma

acelerada con la reciente adopción generalizada de sus normas de compresión. Como consecuencia de la importante reducción de la capacidad requerida para transmitir señales de televisión que se logra actualmente con la compresión digital, por su muy alta eficiencia.

Las empresas comerciales de televisión que producen programas para su difusión a través de estaciones conectadas en cadena han adoptado en forma general su distribución desde sitio de origen de los programas por medio de sistemas de satélites. Las estaciones operan bajo esta modalidad por medio de redes punto a multipunto a través de las cuales reciben los programas y retransmiten por medio de repetidores que operan en las frecuencias de radiodifusión terrenal para televisión que cada estación tiene asignada, a fin de hacer llegar las señales a los receptores de televisión dentro de su zona de servicio, como se muestra en la Figura 1.13

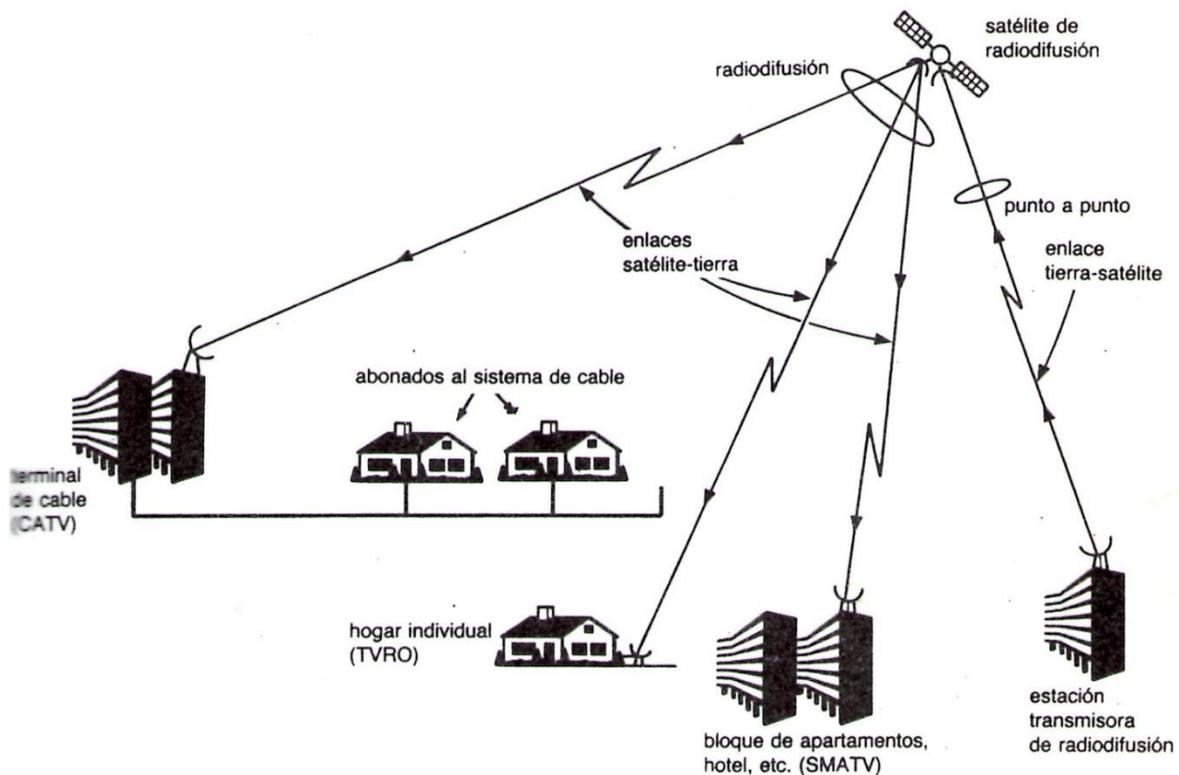


Figura 1.13 Distribución de la TV por satélite.

Satélites Militares:

Estos satélites son los preferidos de los servicios de inteligencia y de las fuerzas armadas de algunos países ya que les permiten tomar fotografías de alta resolución en blanco y negro y a color de una o varias áreas determinadas y por medio de estas pueden estar monitoreando los movimientos de sus enemigos. Estos satélites normalmente están posicionados a una altura de entre 150 y 200 km y viajan a una velocidad de aproximadamente 27,000 km/h.

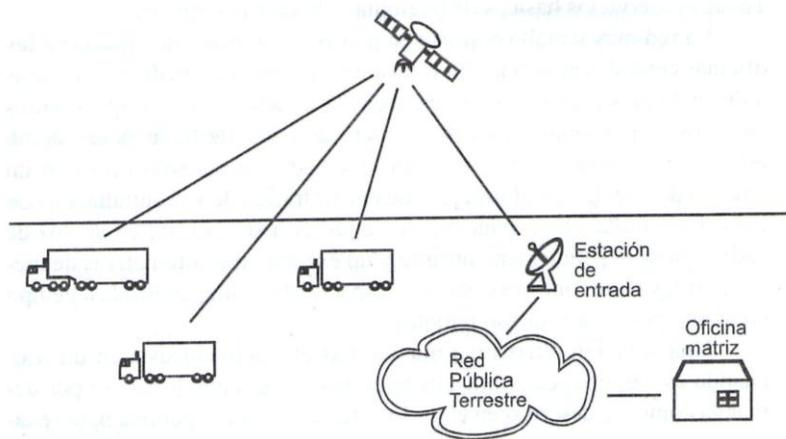


Figura 1.14 Red cerrada de voz por satélite para flotillas.

Satélites Científicos:

Son satélites dedicados a estudiar la tierra como es la deforestación, la capa de ozono el ártico y antártico, el nivel de los océanos, así como también las estrellas y sistemas solares.

Satélites Meteorológicos:

Estos satélites son capaces de identificar y sensar los vientos, nubosidad, lluvias, nevadas, temperaturas en diferentes regiones. Nos permiten obtener con mejor exactitud el pronóstico del tiempo.

Satélites de Telecomunicaciones:

Son los satélites más comunes y se utilizan para proporcionar los servicios de telecomunicaciones comerciales y normalmente están ubicados en órbitas geoestacionarias, intermedias y bajas y se pueden transmitir señales de T.V., voz, datos, tener acceso a Internet, videoconferencias, etc.

Los datos que se cursan por los medios de telecomunicación son por naturaleza digitales, representados por medio de bits, y el principal requisito de calidad de la transmisión es que los errores de su identificación en el punto de recepción causados por ruido, interferencia o distorsión sean muy bajos, del orden de 1 bit en 10 millones transmitidos o menor, que puede cumplirse en la comunicación por satélite mediante los métodos de corrección de errores en este caso en particular el FEC.

Las ventajas de la digitalización de todo tipo de señales, que en su origen no son datos, hacen que se procesen como si lo fueran. La comunicación de datos es una actividad en que los satélites han tenido gran aceptación, pero fue necesario minimizar la dificultad causada por el efecto que en ese tipo de servicio tiene el tiempo de transmisión de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de segundo entre dos estaciones

terrenas a través de un satélite geostacionario, por la distancia a la que se encuentra de la Tierra. Esta dificultad puede considerarse prácticamente inexistente en satélites de orbitas bajas.

La calidad y por consecuencia el éxito de los satélites en esta aplicación se confirman por el crecimiento de su demanda. El crecimiento previsto de estos servicios, propiciado por nuevos desarrollos tecnológicos, estimulo el surgimiento reciente de diversos proyectos de sistemas de satélites especializados para datos y de otros compartidos principalmente con señales de voz digitalizadas, ambos de cobertura global.

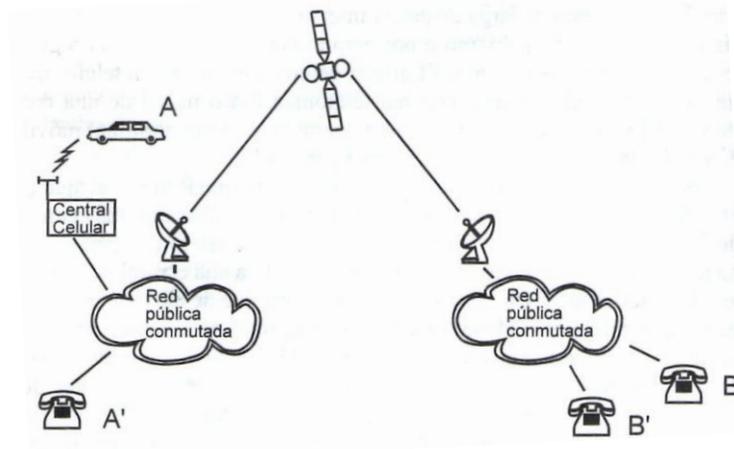


Figura 1.15 Comunicación internacional de servicio telefónico publico conmutado.

Satélites comerciales de Percepción Remota:

Son satélites diseñados y optimizados específicamente para proporcionar fotografías de determinadas áreas de un país en específico mostrando por medio de estas fotografías los cambios geológicos, el avance del crecimiento de las cosechas, el tipo de cosecha, los daños ocasionados por la naturaleza , etc.

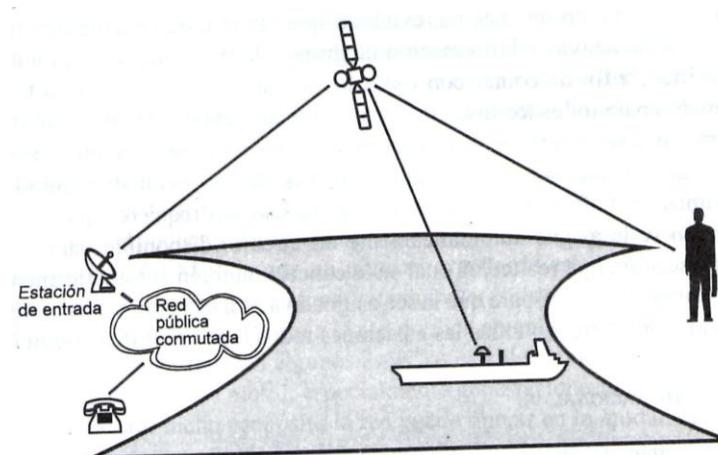


Figura 1.16 Comunicaciones en las redes de datos y telefonía móvil.

Satélites de aplicaciones mixtas:

Muchas empresas requieren de servicios por satélite que abarquen más que solo señales de video, audibles o de datos, por lo que emplean redes que pueden manejarlas simultáneamente en distintas formas de conectividad empleando en forma compartida las mismas estaciones terrenas. Aparte de redes privadas diseñadas especialmente para este propósito, una forma de aprovechar en forma compartida las estaciones terrenas para aplicaciones múltiples con señales de distinto tipo consiste en hacer uso de los telepuertos.

Los nuevos sistemas de televisión directa basados en la norma MPEG-2 permiten también la transmisión simultánea de varios canales de música y de datos de punto a multipunto, por lo que la estación transmisora de una red para dicho servicio puede usarse en forma compartida para transmitir los tres tipos de señales a los mismos o a distintos grupos de usuarios.

Los satélites son la solución ideal cuando: la infraestructura terrestre es deficiente o insuficiente, las extensiones geográficas son grandes o accidentadas: el costo del segmento satelital es independiente de la distancia, ofrece la misma calidad en todos los puntos, existen afectaciones climáticas continuas: recuperación de desastres, comunicación punto a multipunto, flexibilidad y velocidad en la implementación, conectividad de última milla, servicio ocasional o temporal, redundancia o vía alterna, etc.

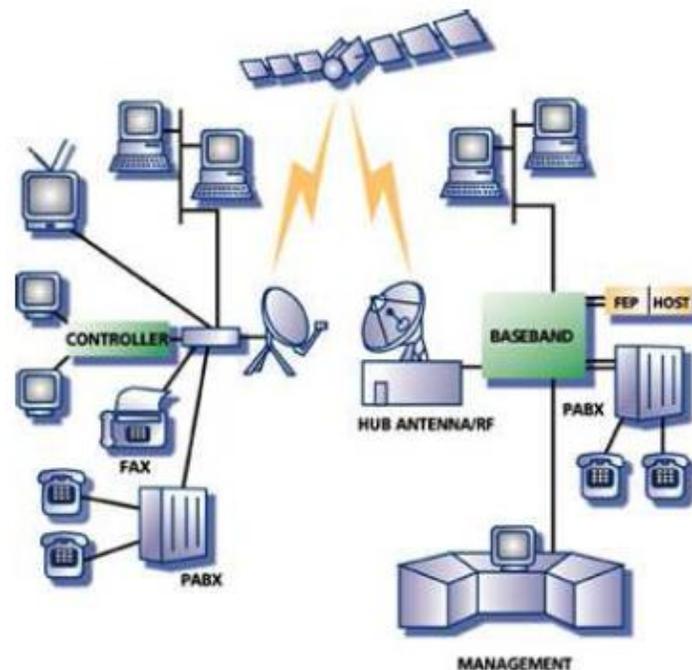


Figura 1.17 Aplicaciones mixtas.

Live news

Transmisión de información por períodos determinados a solicitud del usuario. Estaciones transmisoras transportables para recolección de noticias (satellite news gathering) o fijas para la transmisión de eventos especiales. Banda C y Banda Ku.



Figura 1.18 Live news.

1.4 Satélites y subsistemas

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que se encuentra y desde luego poder comunicarse con la Tierra. En la actualidad hay gran diversidad de satélites geoestacionarios orbitando la Tierra, algunos de ellos se utilizan para servicio móvil de comunicaciones, otros dedicados al servicio fijo de comunicaciones y el número restante cumple con otros propósitos.

No todos los satélites funcionan a la misma frecuencia, pero por lo que respecta a los de comunicaciones la mayor parte funciona en las bandas C y Ku, los híbridos trabajan simultáneamente en ambas bandas. Algunos satélites se utilizan solamente para transmitir televisión, telefonía, en su totalidad o mayor parte y otro manejo exclusivo de información que contenga datos, telefonía y video. Sus configuraciones geométricas también son muy variadas; los hay de estabilización triaxial y por giro, de potencia media y alta, de menor a mayor vida de diseño, y de coberturas geográficas muy diversas.

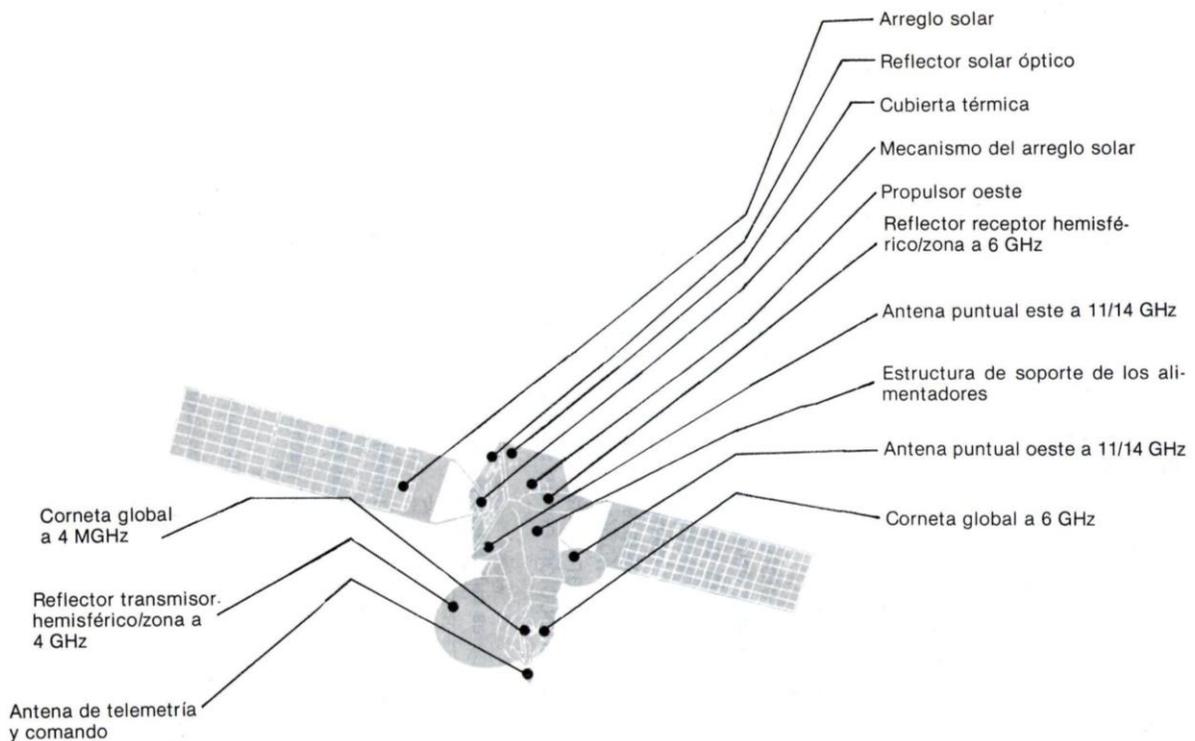


Figura 1.19 Posición de algunos componentes en un satélite.

Los satélites pueden tener formas exteriores muy diferentes y ser utilizados para fines distintos, sin embargo no importando esta diversidad, los principios de diseño y construcción son similares.

Como parte del proceso de diseño, construcción y pruebas es importante considerar que un satélite deberá ser un sistema construido contra fallas (casi) ya que una vez que está en el espacio a 36,000 km de distancia de la tierra si se presenta una falla, la única oportunidad para solucionar el problema es haciendo uso de la redundancia de los diferentes subsistemas y la aplicación de soluciones alternas para de esta forma mantener al satélite operacional y que pueda cumplir con su vida útil. Hay que tomar en cuenta que la implementación de un sistema satelital requiere de una inversión muy alta la cual es considerada de alto riesgo debido principalmente a la posibilidad de retrasos durante el periodo de construcción, la falla total del lanzamiento y las fallas que surjan en el satélite durante su vida operacional que puedan disminuir su vida y el tener una falla catastrófica que lleve a perder totalmente al satélite.

Subsistema de Antenas (de comunicaciones)

Recibe y transmite las señales de radiofrecuencia de las diferentes bandas como pueden ser C; Ku; Ka; L, S, X, etc., estas señales son generadas desde tierra por los clientes y accesan al satélite que una vez que las recibe las procesa, amplifica

y cambia en frecuencia para enviarlas de regreso a tierra concentradas en un solo haz o en muchos haces con una potencia determinada dentro del área o áreas de cobertura asignadas. Este subsistema está conformado por diversos dispositivos y unidades como las mismas antenas, dependiendo el número total de antenas de cuantas coberturas se definen y las bandas en las cuales van a operar.

Es importante mencionar que existen diferentes tipos de antenas y alimentadores de antenas, sin embargo las más utilizadas en los satélites son las antenas parabólicas reflectoras con superficie conformada, cornetas sencillas y los arreglos activos con control de fase, siendo estos arreglos fabricados con tecnología de circuito integrado de tecnología monolítica, los cuales son útiles para generar múltiples haces dirigidos.

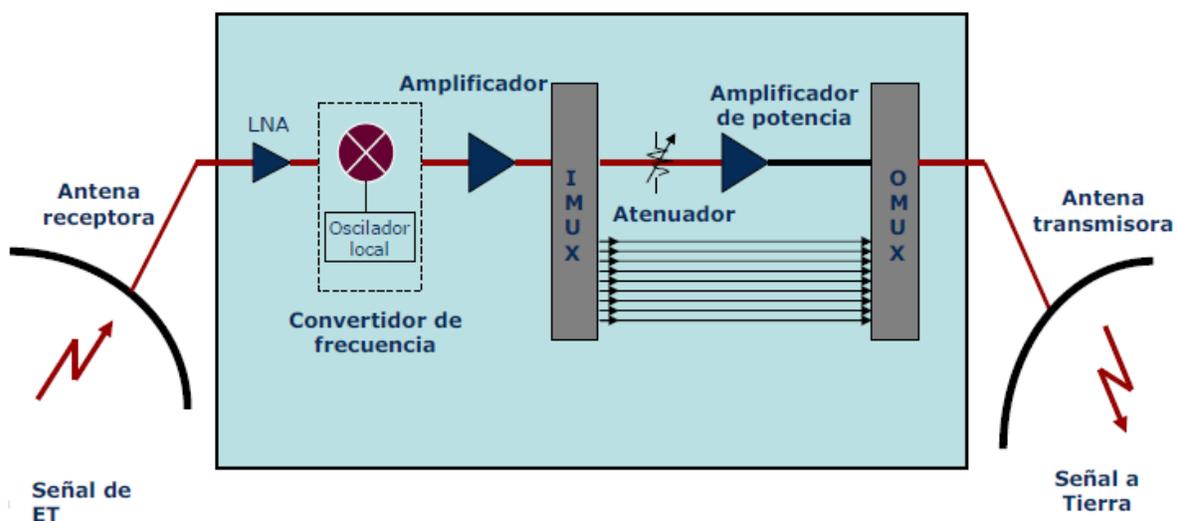


Diagrama a bloques de subsistema de comunicaciones.

Subsistema de Comunicaciones (repetidor)

Como lo mencionamos anteriormente, este subsistema está conectado directamente a las antenas para de esta forma permitir la recepción y transmisión de las señales electromagnéticas y está constituido básicamente por los siguientes dispositivos y unidades: Receptores, Switches de Enrutamiento, Multiplexores de entrada, Atenuadores, Aisladores, Amplificadores, Guías de Onda, Cables Coaxiales, Filtros, Multiplexores de salida.

Las señales provenientes de tierra con diferentes frecuencias y ocupando un ancho de banda determinado son recibidas por las antenas las cuales enrutan estas señales hacia el subsistema de comunicaciones, estas señales son recibidas en la unidad de multiplexora separando cada señal por frecuencia y amplificadas y en algunos casos procesadas digitalmente. Estas señales son trasladadas a frecuencias más bajas para posteriormente amplificarlas nuevamente y son reagrupadas por cada amplificador en el multiplexor de salida el

cual está conectado a los alimentadores de las antenas correspondientes con la ayuda de switches y finalmente salen por las antenas transmisoras.

Cobertura geográfica

El concepto de coberturas ha cambiado drásticamente de los 70's a la fecha, en ese entonces se construían satélites con huellas nacionales ya que la tecnología no permitía huellas más grandes y densas debido a la limitación de generación de potencia eléctrica. Por ejemplo los satélites Morelos I y II generaban 750 watts cada uno aproximadamente, en comparación el satélite Satmex 6 genera aproximadamente 14,000 watts a inicio de vida.

Los elementos básicos a considerar en la definición de las coberturas geográficas son: basado en el plan de negocios, el tipo de aplicaciones y donde están ubicados los clientes; la potencia de radiación del satélite a tierra ya que esto nos permite dimensionar al subsistema de potencia eléctrica y las necesidades de conectividad de los clientes. Otro factor importante a considerar como parte de la concepción de un sistema es voltear, ver y entender que están ofreciendo las compañías competidoras.

A continuación en la Figura 1.20 se muestran las huellas de los satélites operados actualmente por Satmex que en su momento y durante la etapa de concepción y posteriormente durante el diseño fueron definidas.

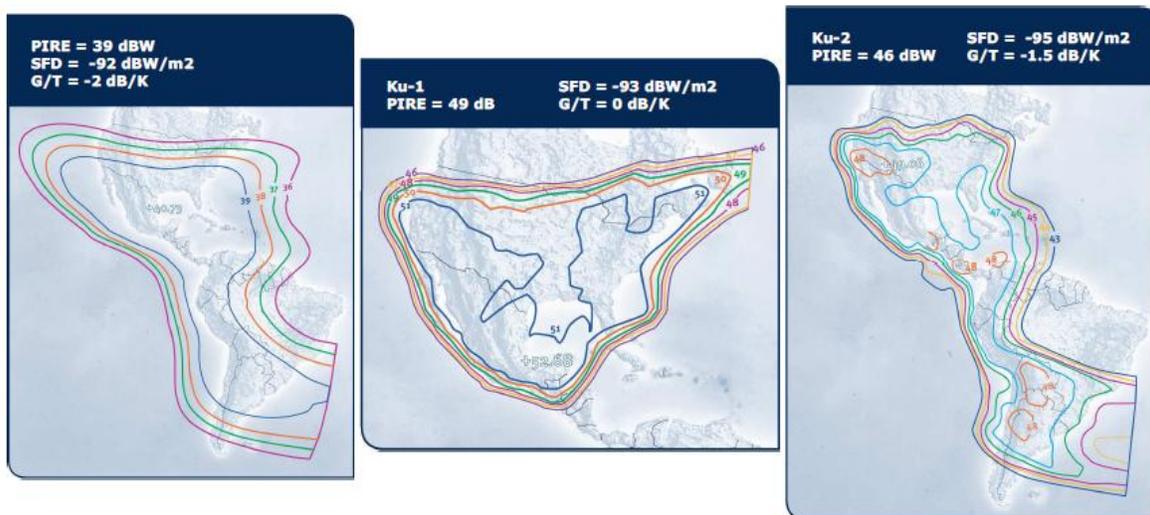


Figura 1.20 Huella de cobertura de satélite.

Subsistema de estructura

La estructura del satélite es el cuerpo que normalmente es un rectángulo y es donde se integran todas las unidades y dispositivos del satélite proporcionando la rigidez necesaria para soportar las fuerzas de aceleración, así como los cambios de temperatura para las diferentes temporadas por las que pasa el satélite. Desde el mismo momento del lanzamiento, en sus diferentes etapas de órbita de

transferencia, órbita final de operación y durante su vida de operación, el satélite está expuesto a vibraciones, aceleraciones, cambios bruscos de temperatura, esfuerzos aerodinámicos, micrometeoritos, presión solar, etc. La estructura considera estos factores para realizar el diseño y construcción de la estructura que en la mayoría de los casos es una estructura modular utilizando materiales especiales y diseños geométricos que ayudan a mitigar su deformación. Los materiales más utilizados son: aluminio, fibra de carbono, titanio, acero y honeycomb que se utiliza básicamente para fabricar los paneles. Los materiales descritos son ligeros, rígidos y resistentes.

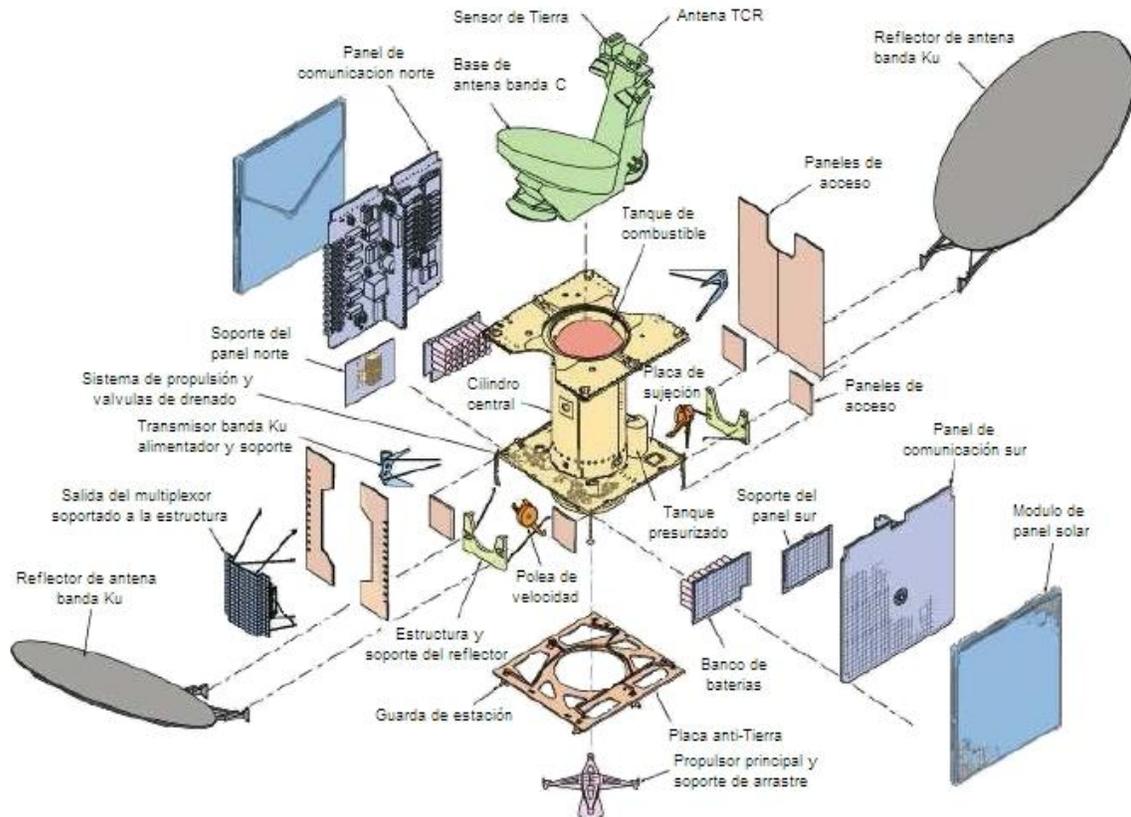


Figura 1.21 Subsistema de estructura.

Subsistema de propulsión también llamado Control de Reacción

El propósito de este subsistema es proporcionar empuje o movimiento por medio de una reacción química y/o por medio de empuje eléctrico (utilizado en los satélites de última generación) para realizar las correcciones de posición y orientación que necesita el satélite. Este subsistema está compuesto básicamente por impulsores, tanques que guardan el combustible o propelente químico, válvulas, tuberías y sensores de temperatura y presión.

Para el caso de satélites equipados con sistemas de propulsión utilizando combustible químico llamado bi-propelente, se combinan el combustible (hidracina monometílica) y el oxidante (tetróxido de nitrógeno) produciéndose una

combustión y como resultado se obtiene el impulso para lograr de esta forma las modificaciones correspondientes y mantener al satélite en su posición y orientación dentro de los rangos de control.

El sistema necesita estar presurizado todo el tiempo por lo que se utiliza helio (gas inerte) para lograr obtener la presión necesaria. Este subsistema también se utiliza para llevar el satélite a su órbita final y esto se logra por medio de un motor principal llamado "LAM" que se alimenta del subsistema para llevar a cabo la combustión.

Con respecto al subsistema de propulsión eléctrica, este se utiliza en satélites de última generación. La gran ventaja de este sistema es que se logra un ahorro en masa lo cual se traduce en menores costos de lanzamiento o en su defecto utilizar este ahorro en masa para incrementar la capacidad de comunicaciones incrementando el número de transpondedores y de su electrónica asociada, sin embargo debido al bajo impulso específico que proporciona este sistema, las maniobras de corrección se realizan a diario y se llevan varias horas.

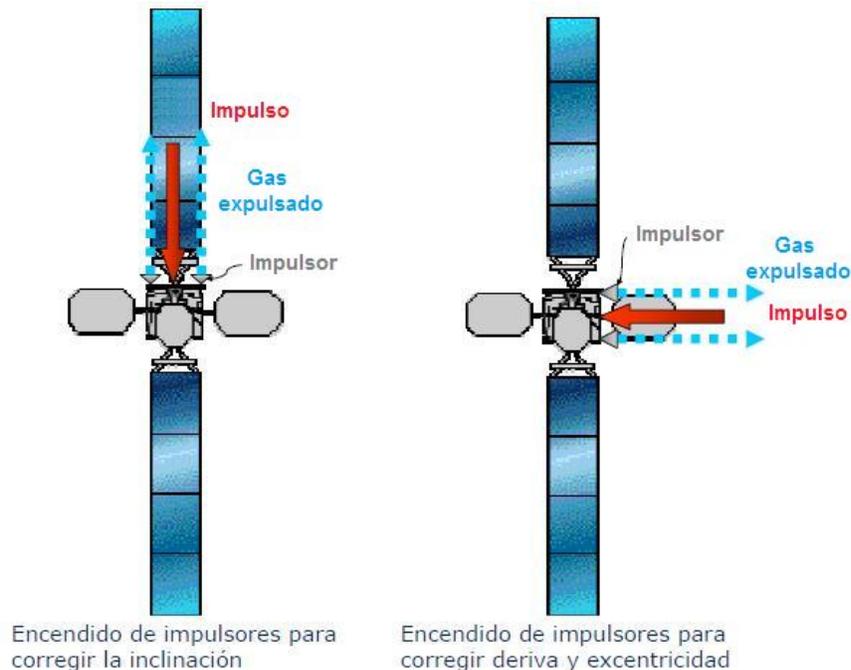


Figura 1.22 Sistema de propulsión.

Subsistema de Orientación

Como lo hemos mencionado anteriormente, el propósito principal de un satélite de comunicaciones es recibir y transmitir señales radioeléctricas desde algún lugar dentro de la cobertura geográfica designada. Esto se logra por medio de las antenas del satélite que deben estar orientadas en forma permanente hacia la zona geográfica de servicio designada, entonces, para que esta situación se tenga, es necesario asegurar que la orientación del satélite siempre es la correcta y de no serlo se tendrán que realizar las maniobras de corrección necesarias.

En sistemas satelitales de estabilización en tres ejes (triaxial) se logra por medio de ruedas o volantes giratorios los cuales están integrados en la sección de la plataforma de la estructura del satélite básicamente sobre cada uno de los ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite. No debemos olvidar que las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de causar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación por lo que se hace necesario determinar donde se encuentra el satélite y cuál es su orientación.

Para lograr la determinación de la orientación del cuerpo del satélite se utilizan varios elementos y dispositivos integrados en el satélite como son: sensores de tierra, sensores de sol, giroscopios, ruedas de momento, procesadores a bordo para procesar la información recibida de estos sensores. Los sensores solares son dispositivos en los que por medio de radiación solar, se produce una corriente eléctrica con una magnitud determinada por lo que podemos afirmar que si se conoce la cantidad de corriente generada, esta se relaciona con la dirección en donde se encuentra el sol. Los sensores de tierra son dispositivos que operan sensando la radiación infrarroja emitida por la tierra y en la misma forma que el sensor de sol opera, sucede con el sensor de tierra, es decir la cantidad de calor que detectan depende de la orientación del satélite a la tierra.

Ahora bien, las actividades de corrección de posición y de orientación de un satélite se llevan a cabo comparando los resultados obtenidos de las mediciones de estos sensores contra los valores de referencia utilizados como valores nominales de control y operación. Una vez obtenidos los resultados de los cálculos de las correcciones, entonces se procede a generar los mensajes de maniobras que se deberán ejecutar enviando al satélite los comandos desde tierra. Estas maniobras se ejecutan mediante la operación de los impulsores del subsistema de propulsión pero también se realizan correcciones en las ruedas de momento, en bobinas magnéticas, etc. De estos, los impulsores son los que proporcionan niveles importantes de corrección.

El satélite gira 360° en 24 horas alrededor de uno de sus ejes para mantener estable la localización de su cobertura, como se ilustra en la siguiente Figura 1.23.

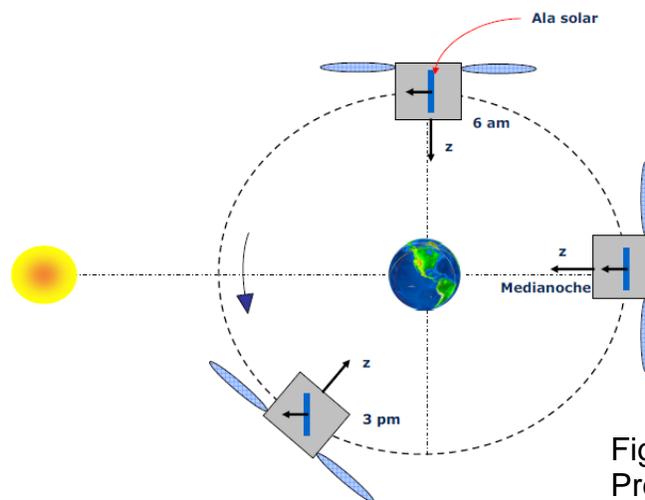


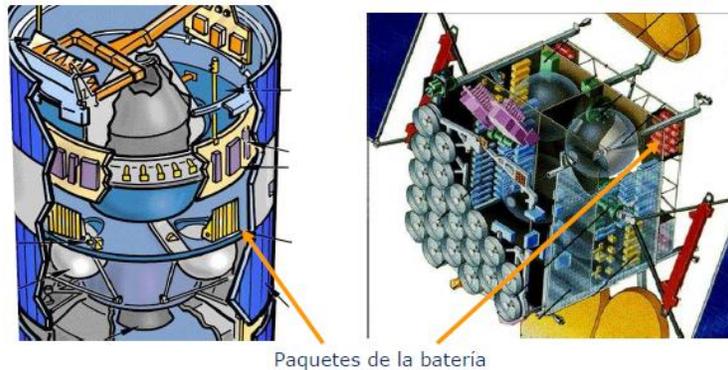
Figura 1.23
Proceso de orientación de satélite.

Subsistema de Potencia Eléctrica

Este subsistema tiene como propósito proporcionar la energía que necesitan los diferentes subsistemas del satélite para operar adecuadamente a lo largo de su vida útil. Para lograr este propósito, el satélite está dividido en dos secciones en este subsistema: Paneles Solares y Baterías, la razón de esto es que en la mayoría del tiempo, el satélite está recibiendo los rayos del sol a través de paneles solares, sin embargo durante las temporadas de eclipse (dos por año) el satélite no puede ver al sol por varios minutos cada noche y se ve en la necesidad de operar a través de las baterías.

La cantidad de energía requerida por cada satélite dependerá del modelo y características propias, sin embargo el elemento que se convierte en el driver principal es el subsistema de comunicaciones ya que este, es el que más consume energía, en otras palabras, el consumo de energía dependerá del número y tamaño de los amplificadores que se utilicen. Actualmente se diseñan y construyen satélites con una potencia eléctrica que va de los 1000 a los 30,000 Watts de generación de potencia eléctrica.

Como hemos mencionado hay dos fuentes de generación de potencia: los paneles solares y las baterías, un tercer elemento indispensable en este subsistema es el acondicionador de esta energía que permite regular y distribuirla con los niveles adecuados a cada unidad y dispositivo de cada subsistema.



Paquetes de la batería
Proporcionan energía en ausencia de luz solar

Figura 1.24 Bancos de baterías.

Con respecto a las celdas solares, podemos decir que en el satélite están ordenadas en arreglos, los cuales en su conjunto proporcionan la energía necesaria casi todo el tiempo y en el caso de los satélites comerciales estas celdas están integradas en 2 paneles solares y en algunos casos tienen forma de cruz con el propósito de incrementar el número de celdas sin afectar la estabilidad del satélite. Estos paneles solares están integrados en las caras norte y sur de la estructura del satélite dando la apariencia de alas. El número total de celdas solares dependerá de la necesidad de energía del satélite, sin embargo hay que tomar en cuenta que la generación de energía de cada celda está limitada a su capacidad de absorción solar, lo anterior basado en el principio del efecto

fotovoltaico “cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar, mayor es la electricidad que generan” dependiendo de la temperatura a las que estas celdas están expuestas. Finalmente mencionamos que las celdas solares tienen un bajo factor de absorción solar siendo actualmente su valor de eficiencia de entre el 26 al 28 % en el mejor de los casos.

Como ya se mencionó, las baterías de un satélite son necesarias para suministrar la energía eléctrica durante los eclipses, los cuales impiden la iluminación de los paneles solares.

En los satélites geoestacionarios, el fenómeno de los eclipses sucede en dos diferentes periodos al año y alrededor de los equinoccios en lapsos diarios de 21 días antes y 21 días después del 21 de marzo y del 23 de septiembre. La duración de los eclipse va en aumento por cada día, teniéndose al inicio eclipses con duración de varios segundos y como máximo hasta 72 minutos de eclipse para después ir nuevamente disminuyendo hasta desaparecer.

Dos temporadas de 46 eclipses cada una ocurren al año cuando la tierra se interpone en la línea de vista entre sol y el satélite. El eclipse más largo dura 72 minutos.

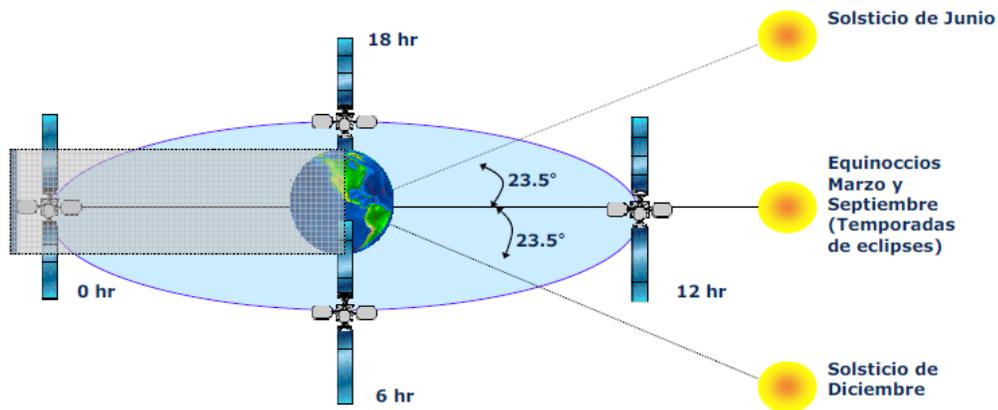


Figura 1.25 Eclipses.

El tipo de baterías más utilizadas en la actualidad son las baterías de níquel-hidrogeno las cuales están integradas a los satélites Satmex 5 y Satmex 6, el satélite Solidaridad II lleva a bordo baterías de níquel-cadmio. Las nuevas generaciones de satélites ya vienen equipados con baterías de litio-ion.

Después de la terminación de cada eclipse (diario), las baterías se tienen que volver a cargar para tenerlas listas para el siguiente día, la recarga de estas dependerá de la profundidad del eclipse de ese día en específico y el tiempo de recarga dependerá del régimen de carga que se utilice. Nominalmente, los controladores satelitales preparan baterías y procedimientos con la suficiente anticipación para de esta forma estar listos para la temporada de eclipses.

Las baterías están conformadas por celdas o ampollas que deben resistir una alta presión y que están expuestas a cambios de temperatura bruscos por lo que es necesario mantener la temperatura de operación adecuada con la ayuda de calentadores y de sabanas térmicas, normalmente estas baterías están integradas a la estructura del satélite en el exterior en la cara anti-earth y están protegidas por cristales de cuarzo (espejos) y sabanas térmicas.

Subsistema de Telemetría y Comando

Este sistema permite conocer (a control remoto) el estado de salud de cada una de las unidades y de algunos dispositivos del satélite, también permite enviar comandos desde tierra para realizar cambios de configuración en los diferentes subsistemas. El sistema de telemetría permite conocer el comportamiento de las unidades en términos de corrientes, voltajes, presiones, temperaturas, potencia de salida de los amplificadores posición de switches, etc., lo cual permite al operador satelital conocer el estado de salud de estas unidades comparando los valores que se reciben del satélite contra los valores de operación nominal y determinar si estas unidades se encuentran operando dentro de los rangos establecidos. Por su parte, las señales de comando son las que permiten realizar modificaciones y correcciones a la configuración de operación de cada uno de los subsistemas del satélite, estos comandos se generan en tierra y son transmitidos hacia el satélite desde la estación terrena de control satelital, como cambiar la ganancia de un amplificador, cambiar de posición un switch, enrutar un transpondedor hacia otra huella de cobertura, extender los paneles solares, desplegar las antenas, cambiar el régimen de carga de las baterías, etc.

Otra función asociada a este subsistema es la de enviar a tierra señales que permitan al operador conocer la posición que guarda el satélite, esto se logra mediante la generación y transmisión desde tierra de tonos, utilizando típicamente 6 tonos diferentes los cuales son recibidos y procesados por el satélite realizando una modulación y regresando estos tonos a tierra.

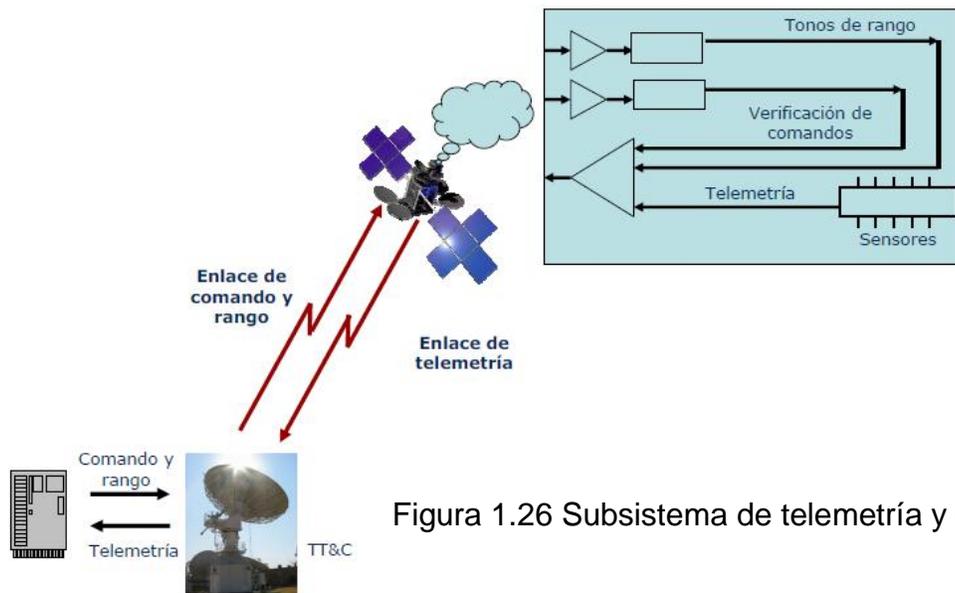


Figura 1.26 Subsistema de telemetría y comando.

Subsistema de Control Térmico

Este subsistema permite que los dispositivos y unidades mecánicas, eléctricas y electrónicas de los diferentes subsistemas operen satisfactoriamente dentro de los rangos de temperaturas para los que fueron diseñados por lo que el balance térmico dentro del cuerpo del satélite se vuelve crítico.

Las unidades que más contribuyen a generar calor dentro del cuerpo del satélite son los amplificadores, otro factor es la energía que absorbe del sol. El control térmico es necesario también durante las temporadas de eclipse en donde el sol se le oculta al satélite ya que el satélite se enfría bruscamente y cuando vuelve a ver al sol sufre nuevamente un cambio brusco de temperatura.

La técnica más utilizada para radiar este calor interno es realizando la transferencia del mismo por radiación hacia el exterior, adicionalmente internamente se lleva a cabo la transferencia por conducción.

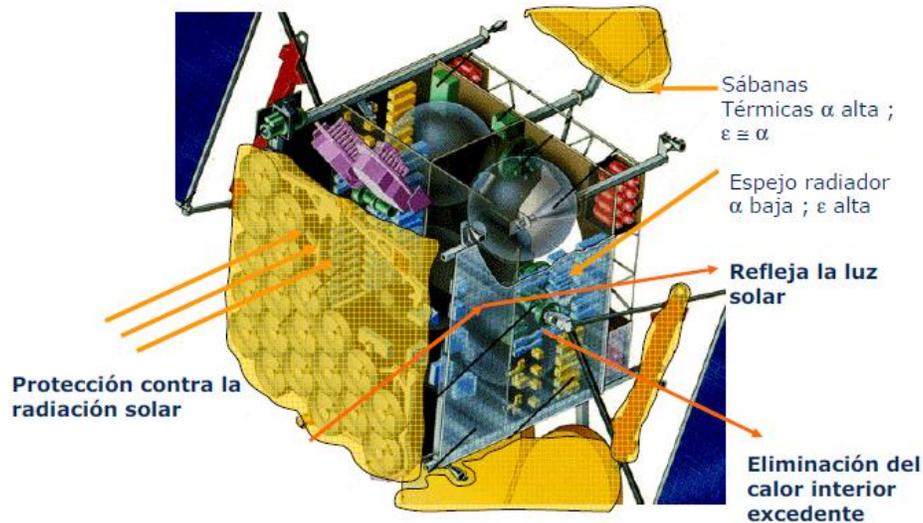


Figura 1.27 Subsistema de control térmico.

Durante el proceso de construcción, se utilizan diferentes tipos de materiales y técnicas para lograr ese balance térmico, a los paneles Norte y Sur de la estructura del satélite se les cubre con reflectores ópticos que asemejan a pequeños espejos cuadrados pegados a lo largo y ancho de estos paneles los cuales reflejan los rayos del sol, los amplificadores con aletas exteriores se integran a lo largo de estos paneles para de esta forma ayudar a disipar hacia el espacio el calor generado por estos amplificadores. Otros materiales que se utilizan en el exterior y en el interior de la estructura del satélite son materiales aislantes (sábanas térmicas), hay una gran variedad de materiales y de colores que se utilizan como por ejemplo Kaptón, mylar, dacrón y los colores pueden ser plata, oro, negro dependiendo del grado de emitancia y absorbencia que se requiera.

Los paneles de la estructura normalmente llevan un serpentín incrustado en estos, el cual al pasar por dentro de los paneles recoge el calor de las zonas más calientes y lo va distribuyendo en las zonas más frías para de esta forma asegurar el balance térmico. Como gas circulante dentro del serpentín se utiliza amoníaco. Cabe mencionar que hay unidades que son más susceptibles a los cambios drásticos de temperatura, un ejemplo típico son las baterías que van integradas en la cara anti-earth del satélite y que necesitan un sistema de calentadores para poder mantener su temperatura de operación especialmente durante la temporada de eclipses.

1.5 Puesta en órbita

Los satélites pueden ser colocados en diferentes tipos de órbita, ángulo de inclinación y altura sobre la superficie de la tierra de acuerdo al tipo de servicio y cobertura. Las leyes físicas que gobiernan las órbitas de los satélites, son las mismas que gobiernan al sistema solar dadas a conocer por mentes brillantes como Kepler, Newton, Gauss, etc., la interacción entre los cuerpos del sistema solar es muy compleja, dependiendo de relaciones cambiantes por lo que es necesario conocer sus efectos.

Hay que recordar que la velocidad orbital de un satélite depende de la altura de su órbita, siendo un ejemplo que para que un satélite permanezca en su órbita geostacionaria debe alcanzar una velocidad de 3.075 Km/s.

La tecnología actual nos permite construir satélites de mayor tamaño y más potentes con el impacto de incremento en su masa por lo que requieren de cohetes lanzadores poderosos. Las compañías proveedoras de servicios de lanzamiento han tenido que crecer en forma paralela, ofreciendo cohetes poderosos para poder lanzar estos satélites grandes y pesados. Estos cohetes son los encargados de llevar uno o varios satélites al espacio, para que después y por sus propios medios, estos inicien su viaje hacia la órbita geostacionaria y queden estacionados en su posición orbital autorizada.

El lanzador Ariane 5 que fue el utilizado para lanzar el satélite Satmex 6, este lanzamiento fue un lanzamiento compartido con el satélite Thaicom 5.

El satélite, es enviado al sitio de lanzamiento en donde el proveedor de los servicios de lanzamiento tiene instalaciones especiales para recibir y preparar hasta 4 satélites en forma paralela. Por su parte, el cohete también es ensamblado y preparado para estar listo y proceder a la integración con el satélite.

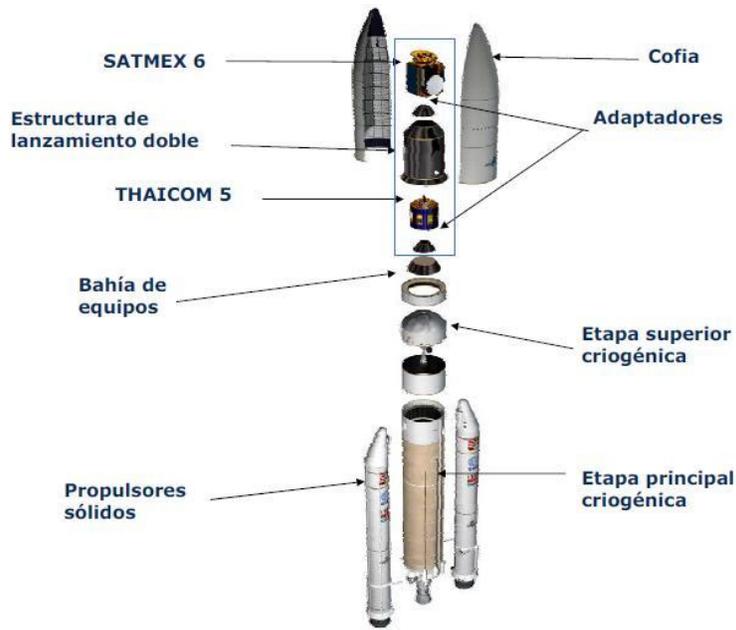


Figura 1.28 Vehículo lanzador.

Antes del lanzamiento del satélite existe un proceso de preparación y verificación del satélite en donde se realizan los siguientes pasos: pruebas funcionales, verificación con el vehículo lanzador, pruebas y carga de baterías, llenado de combustible, presurizado de los tanques del satélite, pesado del satélite e inspección final.



Figura 1.29 Sitios de lanzamiento.

Para alcanzar una órbita geoestacionaria, el mejor desempeño lo podemos obtener si el vehículo se lanza desde el ecuador. Si el lanzamiento se hace hacia el Este, se tiene la ventaja de la velocidad de rotación de la Tierra.

Un satélite geoestacionario deberá llevar a cabo múltiples tareas de manera autónoma para mantenerse operando, tales como el autoabastecimiento de energía y el correcto apuntamiento de sus antenas de comunicaciones, entre otras. La ausencia de atmósfera provoca que sean más intensos los efectos ocasionados por la radiación solar (desde infrarrojo hasta ultravioleta) y la lluvia de partículas subatómicas.



Figura 1.30 Fases de lanzamiento.

Para llevar a un satélite a esta órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

Inyección directa en órbita geoestacionaria

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio sí es necesario en los otros dos procedimientos que se explican más adelante. La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y solo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta.

Inyección inicial en órbita elíptica

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

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura aproximadamente de 200 Km sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35 788 Km, que es una altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la última vuelta

elíptica que se haya programado; obviamente el encendido se efectúa después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección correcta. Al encenderse este, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geostacionaria como se muestra en la Figura 1.31.

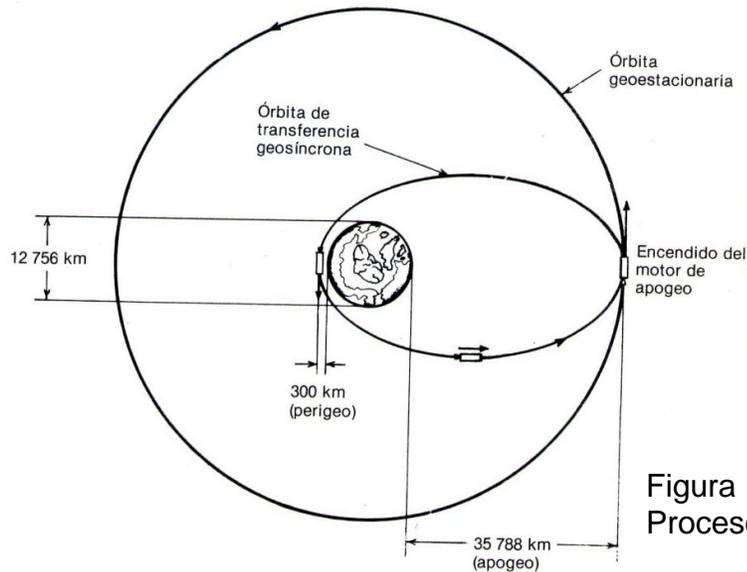


Figura 1.31
Proceso de cambio de órbita.

Algunos cohetes colocan a los satélites geostacionarios en dos pasos. El satélite se pone primero en una órbita elíptica de transferencia geosíncrona y después de varias vueltas, en uno de los apogeos se enciende un motor que circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geostacionaria.

Inyección inicial en órbita circular baja

Esta es la técnica empleada por el sistema de transportación espacial de la NASA de EE.UU., mejor conocido como orbitador y consiste en tres pasos, los dos últimos son idénticos al caso anterior de inyección inicial en órbita elíptica y el primer paso se describe a continuación.

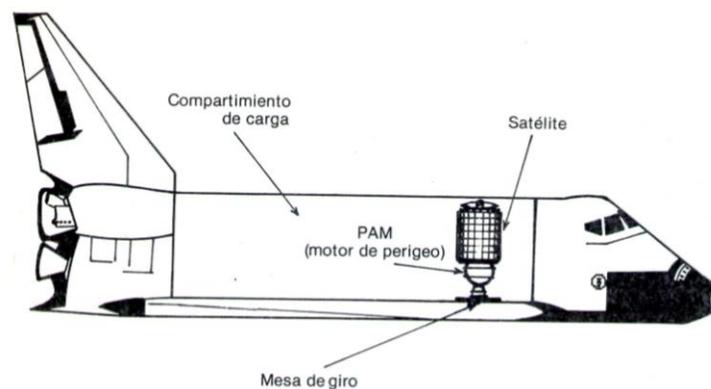


Figura 1.32 Satélite a bordo del orbitador.

El orbitador despega llevando al satélite en su comportamiento de carga como se ilustra en la Figura 1.32 y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km sobre el nivel del mar. En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del comportamiento de carga, quedando de esta forma también en órbita circular baja alrededor de la Tierra, aunque separado del vehículo espacial; la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del comportamiento de la carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador y 45 minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su motor se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica, similar a la del segundo caso explicado anteriormente. Una vez que ha cumplido su función el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que más adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final, como se ilustra en la Figura 1.33.

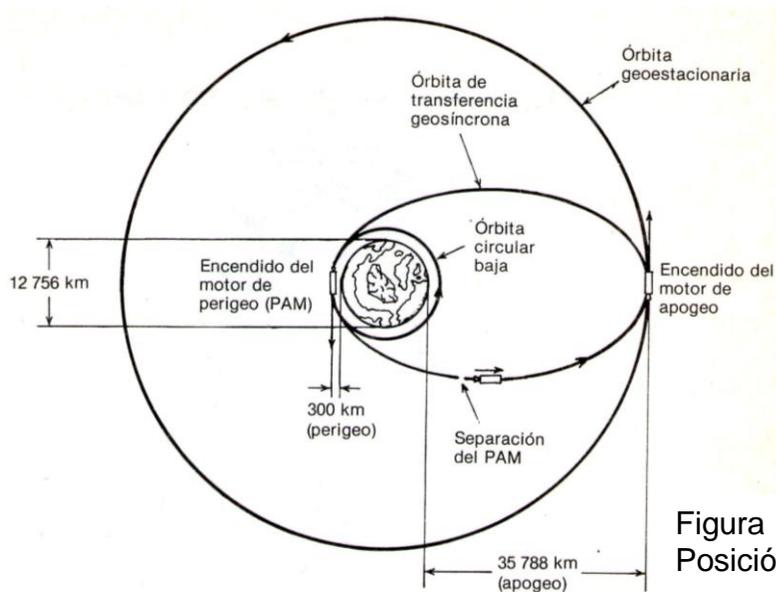


Figura 1.33
Posición de satélite en órbita final.

En realidad el procedimiento para colocar un satélite en órbita geoestacionaria no es tan simple como parece ser de acuerdo con los tres métodos descritos. No solamente hay que proporcionarle cambios o incrementos de velocidad al satélite para modificar la geometría de las órbitas que formen parte del procedimiento elegido, sino que al mismo tiempo también hay que lograr pasar de un plano al otro y todo ello haciendo el menor consumo posible de energía (combustible) para reducir los costos del lanzamiento.

Una vez que el satélite ha llegado a su posición final en el cinturón de Clarke, autorizada a su propietario con años de anticipación por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, no es el primero en llegar ahí, hay muchos otros satélites en el mismo cinturón, algunos jóvenes y otros viejos, de configuraciones, tamaños y

aplicaciones distintas; muchos de ellos reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado que también usará durante su funcionamiento por muchos años. Afortunadamente, aunque que todos los vecinos no se encuentran colocados en el mismo punto; de hecho están separados entre sí por 2 a 3 grados de arco, equivalente a 1500 y 2200 Km respectivamente, con lo cual se garantiza que no existirá ningún riesgo de interferencia radioeléctrica entre ellos. Además la posición en longitud de cada uno depende de la zona geográfica que se encargue de intercomunicar.

De cualquier forma, hay ciertas secciones del cinturón de Clarke que son más codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico, debido a que a sus lados se encuentran los países industrializados de América del norte y Europa. Por lo que se refiere al tráfico interno o doméstico de señales, se intuye que una de las zonas más congestionadas, por la gran demanda de servicios que allí hay, tanto en variedad como en cantidad, es la sección del arco ecuatorial comprendida por las longitudes geográficas de México, EE.UU. y Canadá, así como las longitudes más cercanas a sus territorios.

Regresando al satélite recién llegado, este no debe causar problemas de interferencias ni degradaciones en la calidad de las señales recibidas o transmitidas por él y por lo tanto debe permanecer ahí lo más fijo que se pueda. Es decir aun cuando se esté moviendo a gran velocidad alrededor de la Tierra para mantener su posición geoestacionaria, no debe desviarse de su trayectoria y tampoco debe cambiar la orientación de su cuerpo con respecto a la superficie terrestre.

Sin embargo el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirando de él de un lado a otro, de tal forma que se le puede imaginar, aunque sea en forma muy exagerada, como atracciones de la Luna y el Sol, asimetría del campo gravitacional de la Tierra, campos magnéticos y colisiones de meteoritos; como una botella que flota sobre las olas del mar cambiando su orientación y posición constantemente. Necesita ayuda para resolver todos estos contratiempos tener así mismo cierta flexibilidad de movimiento limitado. A través del subsistema de propulsión del satélite es posible ayudarlo a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

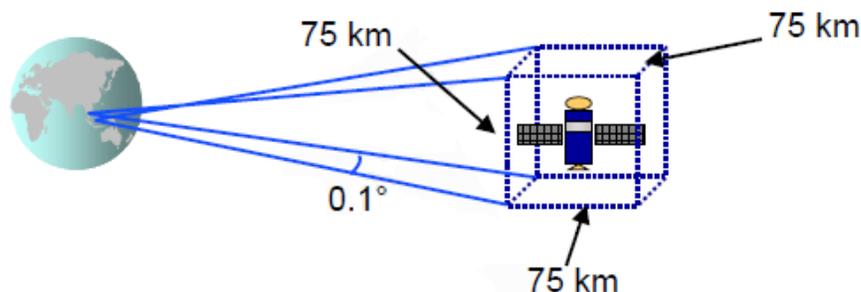


Figura 1.34 Margen de movimientos del satélite.

En la Figura 1.34 se muestra las dimensiones de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio, mientras el satélite se mueve dentro de ella no habrá ningún problema, pero hay que rastrearlo permanentemente para observar su posición y encender el subsistema de propulsión a control remoto antes de que salga, para así regresarlo hacia el otro lado de la caja. Claro está que para realizar todas estas maniobras con precisión se necesita contar en tierra con un centro de control espacial computarizado y que el satélite le envíe cierto tipo de información que le permite a los operadores y a las computadoras hacer sus cálculos y tomar las decisiones correctas.

CAPITULO II

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN VÍA SATÉLITE

2.1 Propagación de ondas electromagnéticas

Para entender la tecnología de los satélites es esencial apreciar, aunque sea superficialmente, ciertas características de nuestra vida diaria, que normalmente se nos pasan desapercibidas.

El descubrimiento de las posibilidades de las ondas de radioeléctricas propicio un aumento inconsiderable en la potencialidad de la intercomunicación humana; ahora vivimos permanentemente inmersos en un ambiente donde un conglomerado de innumerables señales, afortunadamente inaudibles e invisibles viajan incesantemente como la luz, llevando mensajes sospechados e insospechados, parte de los cuales no los descifran y sirven, listos para nuestra captación, una multitud de artefactos audiovisuales, que acabaran acompañándonos en todas partes.

En 1880 Heinrich Hertz llevo a cabo su famoso experimento que confirmo que la comunicación por radio era posible. Cada vez que generaba una descarga eléctrica, un equipo alejado varios metros podía generar una segunda, más pequeña, sin que existiera conexión alambrica entre ellas. Parte de la energía generada por la primera descarga había viajado por la habitación, en forma de ondas de radio, para que las captara el segundo circuito. Había nacido lo "inalámbrico". En tan solo 100 años la tecnología ha explotado de unas distancias de unos cuantos metros a muchos millones y de la sencilla descarga a la gama completa de datos y TV que hoy conocemos.

Los experimentos de Hertz surgieron de su interés por las teorías de James Clerk Maxwell, físico escocés. Maxwell se las había ingeniado anteriormente para asociar lo que entonces se conocía de la electricidad y el magnetismo con las leyes que rigen el comportamiento de la luz y no solo luz, sino también los ingredientes de todas las ondas de radio. Lo que distingue a una onda de otra es la frecuencia, y la luz se caracteriza por ser un conjunto de ondas de frecuencias muy altas, que tienen la capacidad singular de estimular el sentido de la vista.

La onda de radio se describe como electromagnética y tiene dos componentes, un eléctrico y un magnético, las dos partes revisten la forma de campos de rápido desplazamiento. Los campos contienen algún tipo de energía, ya que son capaces de efectuar un trabajo y es así como una onda de radio excita a un trozo de conductor o a una antena.

El campo eléctrico y magnético están formando ángulo recto entre si y respecto al sentido de propagación; ello implica que los propios campos tienen una dirección. Si fuera remotamente posible imaginarnos dos campos distintos entre lazados y acercándose hacia nosotros, si el campo eléctrico variara en intensidad de lado a

lado y el magnético lo hiciera de arriba hacia abajo, diríamos que la onda estaba polarizada horizontalmente. Si estuviera al contrario, estaría polarizada verticalmente, así que es el campo eléctrico el que cuenta. Es esencial apreciar esto ya que con los satélites se utilizan ambas formas de polarización y por lo general se denotan como V y H.

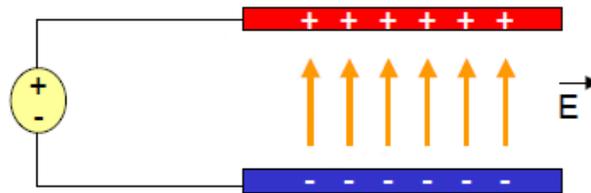


Figura 2.1 Generación de un campo eléctrico.

Normalmente, los campos eléctrico y magnético forman entre si un ángulo recto y se encuentran en planos perpendiculares a la dirección de propagación. Si mantienen sus direcciones relativas, por ejemplo el campo eléctrico siempre vertical, decimos que la onda esta polarizada linealmente. De ahí que en cualquier canal en particular de un satélite deba indicarse no solamente la frecuencia de sintonización, sino también la polarización V o H. Esto es esencial porque para que produzca una captación máxima de señal, las polarizaciones de de las antenas de transmisión y recepción deben coincidir.

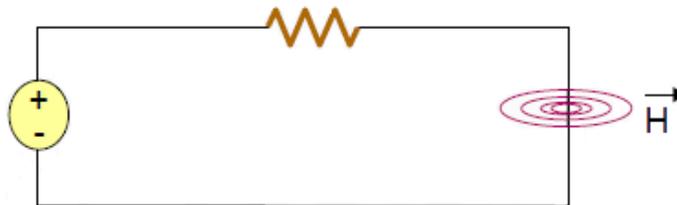


Figura 2.2 Generación de un campo magnético.

Lo que complica aún más el asunto es el hecho de que las ondas de los satélites tienen otro tipo de polarización. En su paso a través de la atmosfera terrestre, es posible que se tuerza la polarización de una forma de onda y que deje de ser verdaderamente vertical u horizontal; a este efecto se le llama pérdida de polarización.

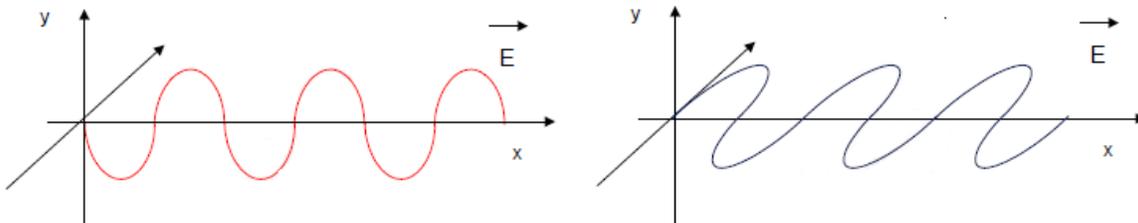


Figura 2.3 Polarización vertical y polarización horizontal.

Los tipos de polarización son: polarización elíptica, polarización vertical, polarización horizontal, polarización circular derecha y polarización circular izquierda.

Cuando una onda de radio abandona una antena transmisora hay varios factores que controlan la intensidad que tendrá al llegar a un punto distante: la potencia inicial, su frecuencia, la distancia recorrida y las pérdidas experimentadas en el camino.

Existen dos tipos de patrones de radiación isotrópico y direccional; en el isotrópico la radiación que genera se presume igual en todos los sentidos, al tipo de antenas que utilizan este tipo de elemento se les conoce como omnidireccionales, y en el direccional la radiación se asume en una sola dirección con un cierto ángulo de apertura, los patrones de radiación se muestran en la siguiente Figura 2.4.

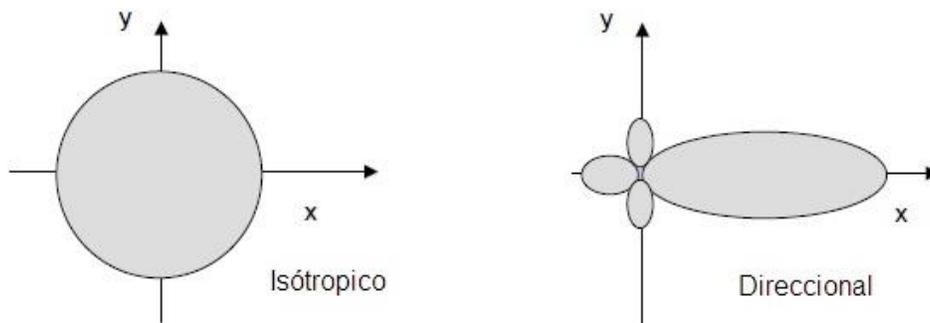


Figura 2.4 Tipos de patrones de radiación.

El patrón de radiación de una antena parabólica típica representa la disminución del valor del campo eléctrico al alejarse un ángulo θ del eje central, mientras menor sea este ángulo, mayor es la directividad de la antena. Los lóbulos de la antena son parte de los defectos de la antena y deben de mantenerse dentro de ciertos límites para controlar las interferencias, en antenas satelitales el patrón de radiación deberá ser estrecho para permitir una proximidad adecuada entre los satélites de la órbita geoestacionaria.

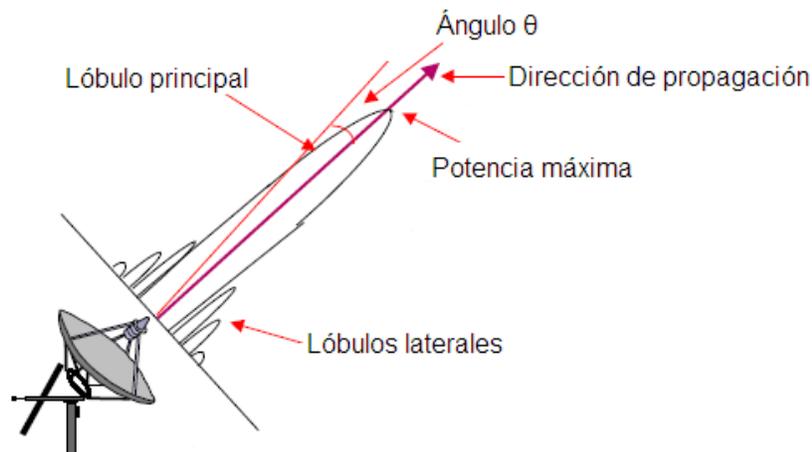


Figura 2.5 Patrón de radiación de una antena parabólica transmisora.

Debido a las características de la atmosfera, las ondas se enfrentan con diversos fenómenos tales como: refracción y reflexión, difracción, atenuación, cancelación, ruido e interferencia de canal adyacente y de co-canal.

La refracción se da cuando una onda viajera, al llegar a una frontera entre dos regiones de características diferentes, se propaga a la segunda región con un cierto ángulo. La reflexión sucede cuando una onda viajera al llegar a una frontera entre dos regiones de características diferentes, rebota en la frontera y se regresa a la primera región con un ángulo igual al de incidencia.

Conforme la onda viajera se va propagando va perdiendo intensidad, este fenómeno es conocido como atenuación y aumenta con la distancia recorrida y aumenta más rápidamente a mayores frecuencias de la onda. En su camino, la onda viajera se puede ver afectada por fuentes de ruido debido a la atmosfera y a fuentes de interferencia naturales, como los rayos cósmicos.

La propagación de las ondas de radio a través de la atmosfera debe considerar varios factores, además de las pérdidas por espacio libre: la característica gaseosa de la atmosfera, la no homogeneidad en la atmosfera, las partículas debido a la lluvia y neblina o polvo y humo. La interferencia adyacente es cuando la señal de un canal invade el espacio de frecuencia de un canal vecino, puede ser por una emisión con demasiada potencia o por un corrimiento de la frecuencia nominal. La interferencia de co-canal se genera cuando en un canal de cierta polarización aparecen vestigios de la señal que se encuentra en la misma frecuencia pero que originalmente viajaba en la polarización contraria.

2.2 Modulador, convertidor ascendente y amplificadores

En el mundo de la electrónica actual, casi todo se realiza manipulando formas de onda y señales para hacer que actúen de determinada manera; esto se conoce como procesamiento de las señales. La técnica empleada desde los orígenes de la radio y de hecho el fundamento de todas las emisiones de radio, se conoce por el nombre de modulación.

La modulación engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos, básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir. La portadora es una forma de onda, generalmente senoidal, que es modulada por una señal que se quiere transmitir. Esta onda portadora es de una frecuencia mucho más alta que la frecuencia máxima contenida en la banda base a la que transporta.

Al modular una señal desplazamos su contenido espectral en frecuencia, ocupando un cierto ancho de banda alrededor de la frecuencia de la onda portadora. Esto nos permite multiplexar en frecuencia varias señales simplemente utilizando diferentes ondas portadoras y conseguir así un uso más eficiente del espectro de frecuencias.

La modulación utilizada para audio y video analógico y digital es QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying). La transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) o en cuadratura PSK como a veces se le llama es otra forma de modulación digital de modulación angular de amplitud constante. Con QPSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia portadora; debido a que hay cuatro fases de salidas diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Ya que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria (base 2), para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada. Con 2 bits, hay cuatro posibles combinaciones: 00, 01, 10 y 11. En consecuencia, con QPSK los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posible. Por tanto, para cada dibit de 2 bits introducidos al modulador, ocurre un solo cambio de salida. Así que, la razón de cambio a la salida (razón de baudio), es la mitad de la razón de bit de entrada.

En la Figura 2.6 se muestra un diagrama a bloques de un modulador QPSK; dos bits se introduce al derivador de bits, después que ambos bits han sido introducidos, en forma serial, salen simultáneamente en forma paralela. Un bit se dirige al canal *I* y el otro al canal *Q*. El bit *I* modula una portadora que está en fase con el oscilador de referencia (de ahí el nombre de “*I*” para el canal “en fase”) y el bit *Q* modula una portadora que esta 90° fuera de fase o en cuadratura con la portadora de referencia (de ahí el nombre de “*Q*” para el canal “cuadratura”).

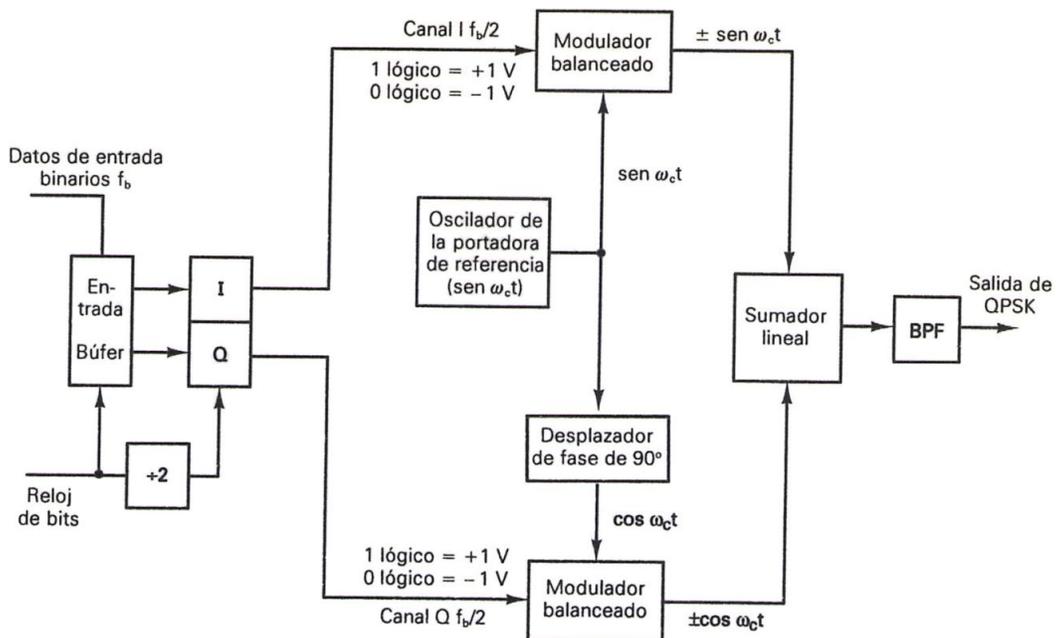


Figura 2.6. Modulador QPSK.

Puede verse que una vez que un dibit ha sido derivado en los canales I y Q , la operación es igual que en el modulador de BPSK. En esencia, un modulador de QPSK son dos moduladores de BPSK, combinados en paralelo. De nuevo, para un 1 lógico = +1 V y un 0 lógico = -1 V, dos fases son posibles a la salida del modulador balanceado I (+sen $w_c t$ y -sen $w_c t$); dos fases son posibles a la salida del modulador balanceado Q (+cos $w_c t$ y -cos $w_c t$). Cuando el sumador lineal combina las dos señales de cuadratura (90° fuera de fase), hay cuatro posibles fases resultantes, mostrados por estas expresiones: +sen $w_c t$ + cos $w_c t$, +sen $w_c t$ - cos $w_c t$, -sen $w_c t$ + cos $w_c t$, y -sen $w_c t$ - cos $w_c t$.

Donde w_c es la frecuencia de la portadora en radianes.

A continuación se construye una tabla de verdad, diagrama fasorial, y diagrama de constelación, para el modulador QPSK mostrado en la Figura 2.6. Para una entrada de datos binaria $Q = 0$ e $I = 0$, las dos entradas del modulador balanceado I son -1 y sen $w_c t$, y las dos entradas al modulador balanceado Q son -1 y cos $w_c t$. En consecuencia, las salidas son:

$$\begin{aligned} \text{Modulador balanceado } I &= (-1) (\text{sen } w_c t) = -1 \text{ sen } w_c t \\ \text{Modulador balanceado } Q &= (-1) (\text{cos } w_c t) = -1 \text{ cos } w_c t \end{aligned}$$

y la salida del sumador lineal es:

$$-1 \text{ cos } w_c t - 1 \text{ sen } w_c t = 1.414 \text{ sen } (w_c t - 135^\circ)$$

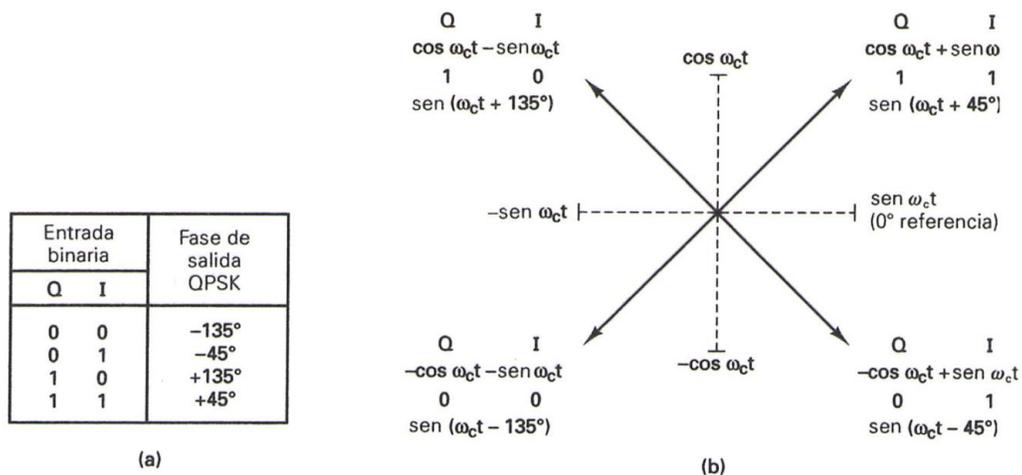


Figura 2.7. Modulador QPSK: (a) tabla de verdad; (b) diagrama fasorial; (c) diagrama de constelación.

Para los códigos dibit que quedan (01, 10 y 11), el procedimiento es el mismo. Los resultados se muestran en la Figura 2.7, puede verse que, con QPSK cada una de las cuatro posibles fases de salida tiene, exactamente, la misma amplitud. En consecuencia, la información binaria tiene que ser codificada por completo en la fase de la señal de salida. Además puede verse que la separación angular entre cualquiera de dos fasores adyacentes, en QPSK es de 90° . Por tanto, una señal de QPSK puede experimentar un cambio en fase de $+45^\circ$ o de -45° , durante la transmisión y todavía retener la información correcta codificada al demodular en el receptor. También se muestra la fase de salida contra la relación de tiempo para un modulador QPSK.

A continuación se muestra un ejemplo del desarrollo de una señal en serie de Fourier y sus propiedades.

Señal periódica:

$$x(t) = x(t + T_0) \quad \forall t, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}, \quad f_0 = \frac{1}{T_0}$$

Cualquier señal periódica de periodo fundamental T_0 se puede expresar como combinación lineal de exponenciales de periodo T_0 .

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n e^{jn\omega_0 t}$$

Formulas de Euler $e^{jx} = \cos(x) + j\text{sen}(x)$ $e^{-jx} = \cos(x) - j\text{sen}(x)$

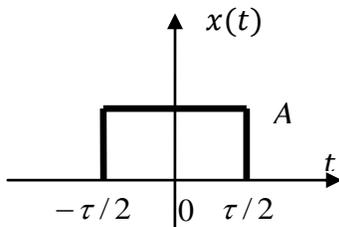
$$\cos(x) = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2} \quad \text{sen}(x) = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}$$

Los coeficientes C_n , llamados coeficientes espectrales, se calculan como:

$$C_n = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt$$

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad \text{Transformada inversa} \rightarrow x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{j\omega t} df$$

Pulso cuadrado



Anchura τ , amplitud A , centrado en el origen.

$x(t) = A \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right)$, donde dicha notación representa un pulso cuadrado de amplitud A , centrado en $t = 0$ y de duración τ .

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt = \int_{-\tau/2}^{+\tau/2} Ae^{-j\omega t} dt = A \left. \frac{e^{-j\omega t}}{-j\omega} \right|_{-\tau/2}^{+\tau/2} = A \left[\frac{e^{-j\omega\tau/2}}{-j\omega} - \frac{e^{j\omega\tau/2}}{-j\omega} \right] =$$

$$A \left[\frac{e^{j\omega\tau/2}}{j\omega} - \frac{e^{-j\omega\tau/2}}{j\omega} \right] = \frac{2A}{\omega} \left[\frac{e^{j\omega\tau/2} - e^{-j\omega\tau/2}}{2j} \right] = \frac{2A}{2\pi f} \text{sen}\left[2\pi f \frac{\tau}{2}\right] = A\tau \frac{\text{sen}(\pi/\tau)}{\pi/\tau} = A\tau \text{ sinc}(f\tau)$$

El espectro es $S(f) = |X(f)|^2 = A^2\tau^2 \text{ sinc}^2(f\tau)$

Propiedades de la Transformada de Fourier

Donde:

TF = Transformada de Fourier

Linealidad $TF[a_1x_1(t) + a_2x_2(t)] = a_1X_1(f) + a_2X_2(f)$

siendo $X_1(f) = TF[x_1(t)]$ y $X_2(f) = TF[x_2(t)]$

Traslación en el tiempo $TF[x(t - t_0)] = X(f)e^{-j\omega t_0}$

Traslación en frecuencia (modulación)

$$TF[x(t)e^{j\omega_0 t}] = X(f - f_0) \quad TF[x(t)e^{-j\omega_0 t}] = X(f + f_0)$$

Un modulador es un circuito electrónico complejo que combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro de un formato radioeléctrico compatible con la transmisión vía satélite, la cual es transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a frecuencia intermedia es el primero en su ascenso de conversión a microondas.

Aunque el modulador coloca a la señal modulada en una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo tanto, es necesario subirla más en frecuencia, empleando para ello un equipo convertidor ascendente de frecuencia.

El convertidor ascendente (Up converter) transfiere a la señal de la frecuencia intermedia que dependiendo del sistema, puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las

nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena; para esto se utiliza un amplificador de alta potencia o HPA.

Cuando una señal eléctrica se desplaza a través de cualquier materia se encuentra con cierta oposición; el desplazamiento puede ser a través de un conductor, fibra óptica o la atmosfera, para vencer esta resistencia se necesita, se necesita energía que solo puede provenir de la propia señal. En consecuencia según se desplaza la señal, se debilita progresivamente es decir disminuye su amplitud o potencia.

La función del amplificador de potencia es tomar una señal de radiofrecuencia de baja potencia y llevarla a los niveles necesarios para alcanzar el satélite requerido. Existen tres tipos básicos de amplificadores: Klystron, TWT (Tubo de ondas viajeras) y SSPA (estado sólido).

Un klistrón es un amplificador de estructuras resonantes, por lo cual operan en un ancho de banda estrecha, menor a 80 MHz. Los electrones que atraviesan la primera malla son acelerados o desacelerados dependiendo de la polaridad del voltaje de entrada, en ciertos puntos a lo largo del espacio de transferencia se producen concentraciones de electrones, debido a las distintas velocidades con que estos viajan. Por diseño de estos dispositivos, estas concentraciones ocurrirán en espacio entre las mallas de la cavidad de salida, estas concentraciones producen altos voltajes en esa cavidad y una parte de la energía del haz de electrones es transferida a la señal de salida. Es el HPA que puede generar mayor potencia de hasta 5 KW.

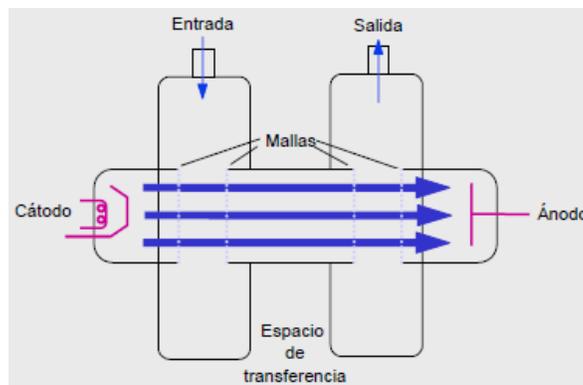


Figura 2.8. Esquema de HPA Klystron.

El amplificador TWT es un dispositivo de vacío no resonante, lo que le permite manejar grandes anchos de bandas como 500 MHz. Emplea una estructura de onda helicoidal, en ella existe una interacción entre la señal de RF y el haz de electrones; si las condiciones son correctas se transfiere energía a la señal en la guía helicoidal y la salida es amplificada. Para lograr esto, debe mantenerse entre la señal y el haz de electrones una correcta diferencia en fase y velocidad. La

ganancia de estos dispositivos depende de un buen ajuste, dimensiones y longitud eléctrica, voltajes de aceleración, etcétera; el amplificador TWT alcanza potencias de hasta 2.5 KW.

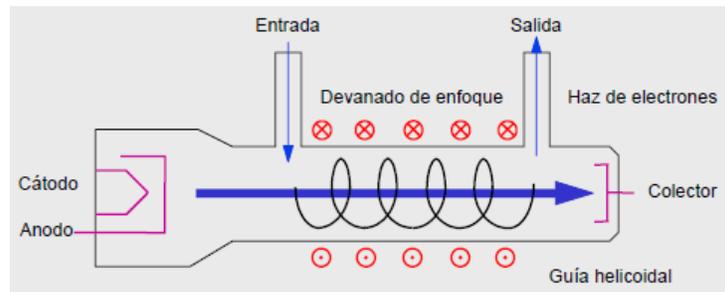


Figura 2.9. Esquema de HPA TWT.

Los amplificadores de estado sólido manejan potencias pequeñas, se emplean en estaciones terrenas pequeñas y con satélites que cuenten con transpondedores de alta ganancia. Se construyen a base de transistores de efecto de campo FET de gas, teniendo mejor linealidad que los amplificadores de tubo por lo que se requiere menor back-off en la transmisión de varias portadoras, tienen buena eficiencia, ya que consumen poca energía, son muy confiables y son de bajo costo. Los SSPA manejan potencias de hasta 1 KW con un ancho de banda de 500 MHz

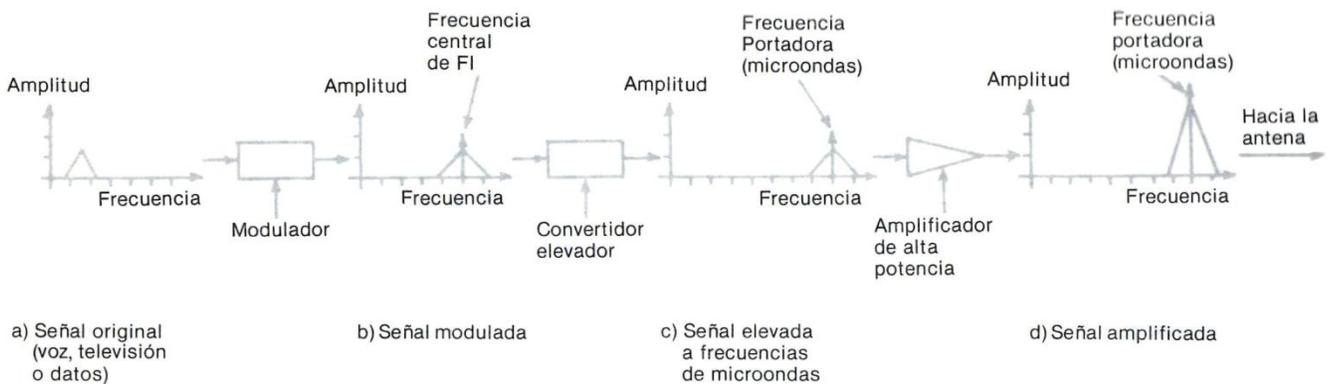


Figura 2.10. Bloques del sistema de transmisión y transformación de una señal para poder radiarla hacia el satélite.

2.3 Recepción de TV satelital

Para una recepción de TV satelital se necesita: una antena parabólica, LNB, receptor de satélite y televisor. La antena es un elemento esencial, recibe las señales que se transmiten del satélite y se reflejan a un foco central sobre el que se monta el LNB. La señal digital del LNB llega a la banda de frecuencia de 950 a 1450 MHz a la entrada del sintonizador. El sintonizador selecciona la correspondiente frecuencia intermedia del transpondedor del satélite cuyo multiplexor contiene el servicio elegido por el consumidor. Después de detectar la

señal y enviar la corrección de errores, se produce un flujo de bits, el flujo de transporte MPEG-2 o formato de compresión. El eliminador de distorsiones y la tarjeta inteligente hacen que la señal distorsionada vuelva a su formato nítido original. El demultiplexor extrae del servicio deseado los componentes de vídeo, audio y datos. Las señales digitales se convierten entonces al formato analógico y pasan a las terminales de salida del IRD o receptor.

La orientación de una antena de TV satelital depende del modelo concreto de la antena, aunque el cálculo de los parámetros para su orientación es muy similar, y los conceptos son iguales en todos los tipos.

Para determinar la orientación de una antena, hay que tener en cuenta la localización geográfica del lugar de recepción (latitud y longitud) y la ubicación del satélite geoestacionario sobre el plano ecuatorial (longitud); calculando los ángulos de elevación y azimut para un sitio en particular, dicho método de cálculo se describe al final de este capítulo.

El ángulo de elevación es aquel formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite, como se ilustra en la Figura 2.11, si la antena está apuntando hacia el horizonte indica que tiene un ángulo de elevación de 0° de elevación, si la antena está apuntando hacia el cenit (al cielo), indica que tiene un ángulo de 90° de elevación.

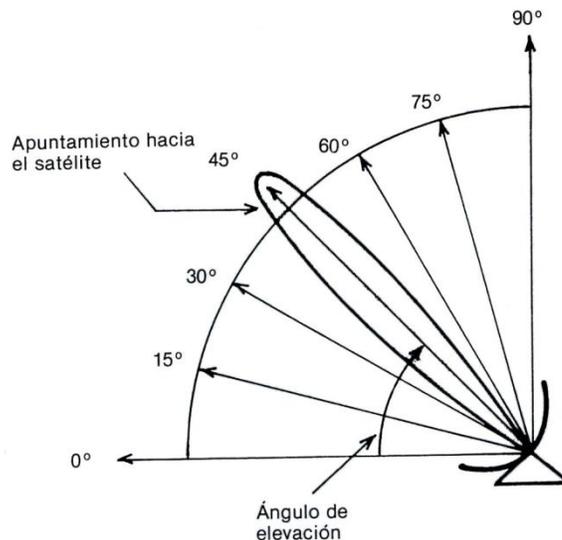


Figura 2.11. Definición del ángulo de elevación.

El ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj con relación al norte geográfico de la Tierra, para ese mismo eje de simetría prolongado imaginariamente pase por la posición en longitud del satélite; si la antena está apuntando hacia el este geográfico indica que tiene un ángulo de azimut de 90° , si la antena apunta hacia el sur geográfico indica que tiene un ángulo de azimut de 180° .

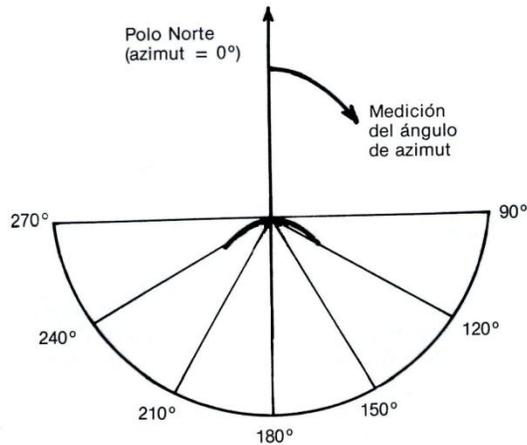


Figura 2.12. Definición del ángulo de azimut.

El desplazamiento de la polarización es el ángulo al que hay que girar el alimentador de la antena para que la polarización horizontal y vertical incidan perfectamente en el alimentador. En el caso de los satélites DBS, debido al uso de polarización circular, no es necesario este parámetro.

Una vez que se tiene la antena orientada, se observa en el analizador de espectros, el espectro de satélite, ajustando al máximo el nivel de recepción, con movimientos ligeros de azimut, elevación y polarización de la antena; así mismo observando el nivel de señal en el receptor satelital empleado. El nivel mínimo admisible para captar una señal de TV satelital adecuadamente es de 6dB.

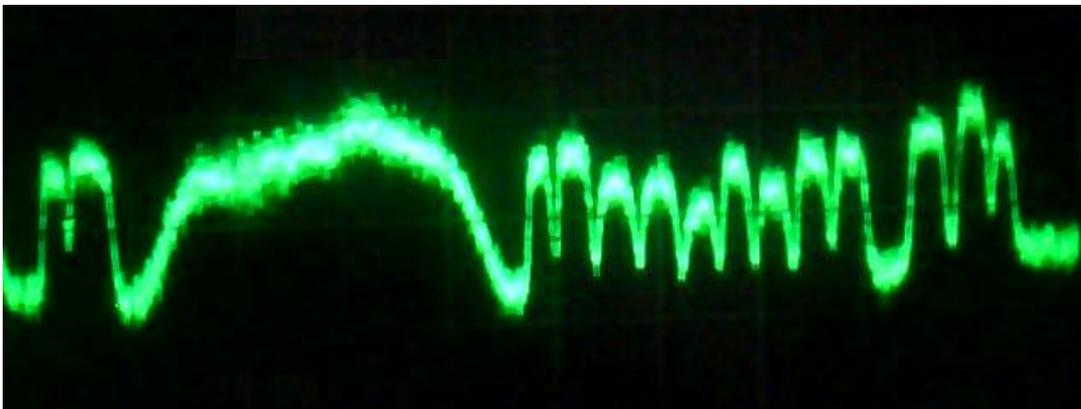


Figura 2.13 Espectro de satélite satmex 6.

2.4 Transmisión de TV satelital

Para llevar a cabo una transmisión de TV satelital, se debe verificar que los niveles de audio y video sean los adecuados, es decir que se encuentren dentro de las normas establecidas. En el caso del video a transmitir se ajusta luminancia a 140 unidades, esto quiere decir en nivel eléctrico 1 Vpp, 0.7 Volt de 0 a 100 unidades y 0.3 Volt de 0 a -40 unidades; en croma se ajusta a 80 unidades, sincronía y observando que no exista interferencia o perturbación en el video

empleando un forma de onda y se lleva acabo generando barras de colores como se ilustra en la Figura 2.14, también se verifican los vectores de los colores, mediante el vectorscopio.

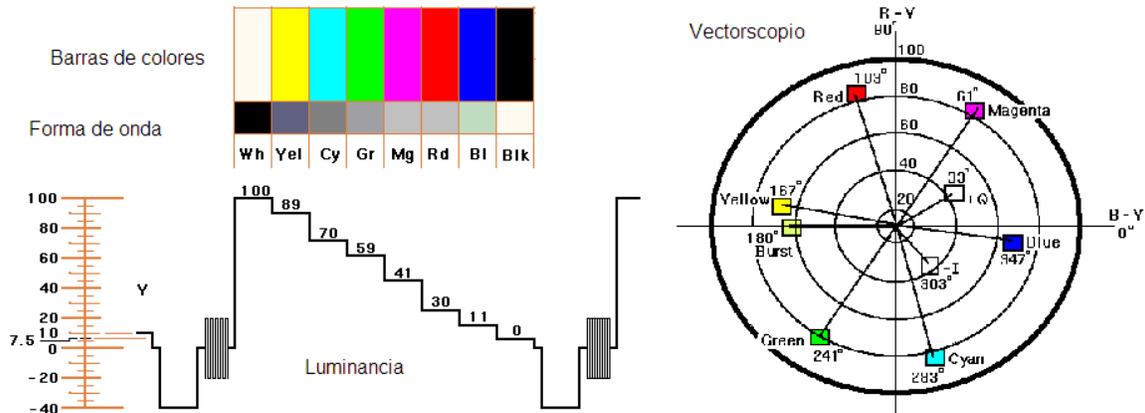


Figura 2.14. Representación de las barras de colores en el forma de onda y vectorscopio.

En el caso del audio a transmitir se miden los niveles, que sean los correctos enviando un tono y ajustando de acuerdo al nivel, sin llegar a la saturación o deformación del audio y una vez que se tiene todo en normas entra la señal generada en banda base hacia el encoder modulador, donde es comprimida y procesada en el formato que se requiere; del encoder pasa al convertidor elevador y después se amplifica la señal para ser enviada hacia el satélite geostacionario y ser retransmitida por el satélite de acuerdo a su cobertura.

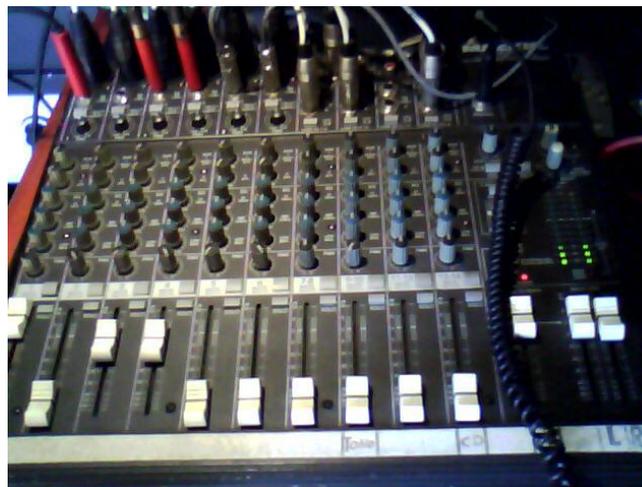


Figura 2.15. Mezclador de audio.

2.5 Servicios fijos y móviles de comunicación satelital

Los servicios que se pueden prestar con los satélites geostacionarios de comunicaciones se dividen en dos grandes grupos: fijo y móvil. Una red de

comunicaciones de servicio fijo consiste en uno o varios satélites y las estaciones terrenas que se intercomunican a través de ellos, con la particularidad de que las estaciones siempre permanecen en el mismo punto geográfico donde se hayan instalado inicialmente, es decir, son fijas. Lo anterior no significa que las estaciones terrenas no puedan tener cierta flexibilidad en su movimiento, puesto que en ciertas ocasiones se necesitan reorientarlas para mejorar la calidad de recepción o para cambiar de satélite y a pesar del movimiento de giro que la antena tenga temporalmente, la estación siempre permanece fija en el piso. Un caso muy particular es de las unidades llamadas móviles, que consiste en un plato parabólico, el equipo electrónico necesario de transmisión y recepción, y una planta propia de energía eléctrica, montados en una camioneta o camión; estas unidades móviles son especialmente útiles cuando se desea ofrecer un servicio ocasional, o cubrir algún acontecimiento de corta duración que se desarrolle en un lugar carente de instalaciones propias de transmisión y recepción, por ejemplo, la transmisión de un encuentro deportivo, una reunión internacional de funcionarios o una campaña electoral. De cualquier forma una vez que las unidades móviles son trasladadas a los puntos donde van a estar transmitiendo y recibiendo, y después de que sus platos parabólicos son orientados hacia el satélite correspondiente, permanecen operando en modo fijo, por lo que también quedan incluidas dentro del servicio fijo de comunicaciones vía satélite.

La mayor parte de las estaciones terrenas que existen en el mundo operan en la modalidad de servicio fijo, sin importar si la red de comunicaciones a la que permanecen es nacional o internacional. El servicio fijo abarca la transmisión y recepción de televisión, radio, telefonía y datos; los satélites satmex son solo algunos ejemplos de los muchos que prestan esta clase de servicio.

Muchos usuarios que requieren comunicarse por satélite tienen la característica de que sus equipos no permanecen fijos, sino que se mueven o cambian de lugar constantemente, por ejemplo, en barcos, plataformas marinas, aviones, trenes, camiones de carga y automóviles. Las redes de comunicaciones que satisfacen esta demanda pertenecen a la rama del servicio móvil vía satélite. En estos casos, las personas a bordo de vehículos pueden comunicarse con otros vehículos o con puntos fijos.

En cualquiera de los casos el equipo de comunicaciones del vehículo debe tener una antena capaz de permanecer en contacto con el satélite geoestacionario, independientemente de su movimiento. Dependiendo del tipo del vehículo, de sus dimensiones y de la cantidad y diversidad de información que transmita o reciba, requiere tener una clase diferente de antena y equipo electrónico.

2.6 Calculo de enlace satelital

Los enlaces entre las estaciones terrenas y los satélites o entre satélites están constituidos por radiación electromagnética dirigida en haces de mayor o menor concentración, similares en algunas de sus características a los enlaces

entre estaciones ubicadas en la superficie de terrestre y en muchos casos en las mismas bandas de frecuencias, atribuidas en forma compartida. Para lograr que los enlaces por satélite cumplan con los requisitos de una determinada red de comunicación debe considerarse las características de las unidades de equipo para las estaciones terrenas y los transpondedores que forman parte de la misma, la del medio de propagación y los efectos de radiaciones no deseadas de origen externo.

El cálculo de enlace es un procedimiento matemático que nos 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 nos 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 mismo), y a la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.

En todo sistema de comunicación la presencia de ruido es algo inevitable que genera una degradación de la señal útil. La relación portadora a ruido (C/N), se refiere a la diferencia existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido existente en el sistema, la utilizaremos como el indicador de la calidad de comunicación en el sistema de microondas vía satélite.

La metodología de cálculo que emplearemos se basa en dividir al cálculo del enlace satelital en tres partes principales: enlace ascendente, enlace descendente y evaluación del enlace. Cada una de las partes anteriores conjunta a una serie de conceptos físicos y procedimientos matemáticos con cierta independencia que nos permiten manejarlos por separado; en las dos primeras partes se trata de obtener las relaciones (C/N) totales ascendente y descendente, en tanto que en la última parte se determina el margen del enlace. El margen del enlace es el parámetro que nos indica la calidad total del enlace, que considera el nivel de potencia en el equipo receptor de acuerdo a una calidad esperada en la información recibida y la calidad de la información proporcionada por el enlace, en función de la potencia total de la portadora.

Cuando se diseña un enlace debe tomarse algún criterio de diseño que fije las condiciones para que el enlace opere satisfactoriamente, de ahí que una vez establecidos dichos criterios se considera si el margen del enlace es bueno o no; en caso de 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 debemos cambiar el valor de la potencia con la que transmite la E/T, así hasta obtener los resultados deseados.

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de enlace satelital para una señal de video digital en banda C, satélite satmex 5, considerando que nuestro trabajo está enfocado a la transmisión de audio y video satelital.

DATOS DE SATELITE

Satélite	Satmex 5
Longitud Oeste	116.8 ° W
Banda de operación	C
Tipo de transpondedor	1C (36 MHz)
Frecuencia ascendente	5.931 GHz
Frecuencia descendente	3.706 GHz
IBO (Input Back Off)	7.5 dB
OBO (Output Back Off)	5.0 dB
ATP (Atenuador de Posición)	6.0 dB

DATOS DE LA SEÑAL A TRANSMITIR

Data Rate (Velocidad de información)	4.0 Mbps
Modulación	QPSK
Roll Off (Respuesta del filtro del encoder)	14 %
FEC (Corrección de errores por adelanto)	0.75

DATOS DE LAS E/T TRANSMISORA Y RECEPTORA

Localidad	México, D.F. (Tx)	U.S.A. New York (Rx)
Latitud Norte	19.4 °N	40.72 °N
Longitud Oeste	99.15 °W	74.02 °W
Diámetro de antena	3.80 m.	4.20 m.
Ganancia de antena Tx	45.88 dBi	
Ganancia de antena Rx		43.03 dBi
Temperatura total del sistema		89.99 °K
Eb/No del modem receptor		6.0 dB

PARAMETROS DEL SATELITE PARA LAS LOCALIDADES DE INTERES

Localidad	México, D.F. (Tx)	U.S.A. New York (Rx)
DFS (Densidad de Flujo de Saturación)	-96.72 dBW/m ²	-93.72 dBW/m ²
G/T (Figura de Merito)	0.48 dB/K	-2.72 dB/K
PIRE _{saturación}	40.81 dBW	37.60 dBW

CALCULOS PRELIMINARES

Los cálculos preliminares son aquellos que nos generarán una serie de datos necesarios para el cálculo de enlace propiamente dicho, de acuerdo a ésta metodología 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 aquí 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 definen la calidad del enlace. El dato de la distancia nos servirá para evaluar las pérdidas de potencia debidas a la dispersión de la energía en la trayectoria de propagación; para obtener éste parámetro, necesitamos conocer el ángulo de elevación por lo que éste se evalúa. En lo que respecta al ángulo de azimut, se calcula como complemento al ángulo de elevación para tener completa la referencia y estar en condiciones de apuntar una antena hacia el satélite, aunque restaría hacer la consideración debido a la declinación magnética.

ANCHO DE BANDA

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

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 (característica del encoder)

sustituyendo:

ANCHO DE BANDA OCUPADO

$$AB_{ocu} = 4 \times 10^6 (0.75)^{-1} (0.5) (1.14)$$

$$AB_{ocu} = \mathbf{3.040 \text{ MHz}}$$

El ancho de banda ocupado es el espacio en frecuencia que utilizaremos para el cálculo de enlace. El ancho de banda asignado es un concepto que utilizamos en la asignación de las frecuencias operativas de los enlaces.

APUNTAMIENTO DE ANTENA Y DISTANCIA E/T-SATELITE

Angulo de azimut para E/T trasmisora México, D.F.

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

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:

$$\begin{aligned} \text{E/T al oeste del satélite: } A &= 180 - A' \\ \text{E/T al este del satélite: } A &= 180 + A' \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{E/T al oeste del satélite: } A &= A' \\ \text{E/T al este del satélite: } A &= 360 - A' \end{aligned}$$

sustituyendo para México, D.F.:

$$\begin{aligned} A' &= \tan^{-1} (\tan [ABS (116.8 - 99.15)] / \sin 19.4) \\ A' &= 43.77 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} A &= 180 + 43.77 \\ A &= 223.77^\circ \end{aligned}$$

Angulo de elevación para E/T trasmisora México, D.F.

$$E = \tan^{-1} \left\{ \frac{R - Re (w)}{Re \cdot \sin(\cos^{-1} w)} \right\} - \cos^{-1} w$$

Donde: R = Distancia Promedio del Centro de la Tierra a la órbita geoestacionaria (42164.2 Km)
 Re = Radio Promedio de la Tierra (6378.155 Km)
 $w = \cos LAT_{E/T} (\cos [LONG_{SAT} - LONG_{E/T}])$

sustituyendo:

$$\begin{aligned} w &= (\cos 19.4) \cos [116.8 - 99.15] \\ w &= 0.8988 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= \tan^{-1} [(42164.2 - 6378.155 (0.8988)) / (6378.155 (\sin(\cos^{-1} 0.8988)))] - \\ &\quad \cos^{-1} 0.8988 \\ E &= 59.62^\circ \end{aligned}$$

Distancia entre E/T México, D.F. y satélite satmex 5

$$D = [R^2 + Re^2 - (2 Re (R) \sin(E + \sin^{-1} ((Re / R) \cos E)))]^{1/2}$$

Donde: R = Distancia Promedio del Centro de la Tierra al Satélite (42164.2 Km)
 Re = Radio Promedio de la Tierra (6378.155 Km)
 E = Angulo de elevación

sustituyendo:

$$D = [42164.2^2 + 6378.155^2 - (2 (6378.155 (42164.2)) \text{ Sen}(59.62) + \text{Sen}^{-1}((6378.155 / 42164.2) \text{ Cos}59.62))]^{1/2}$$

D = 36538.48 Km.

Angulo de azimut para E/T receptora U.S.A. New York:

$$A' = \text{Tan}^{-1}(\text{Tan}[\text{ABS} (116.8 - 74.02)] / \text{Sen}40.72)$$

$$A' = 54.82$$

como la E/T está ubicada en el hemisferio norte y al este del satélite

$$A = 180 + 54.82$$

A = 234.82°

Angulo de elevación para E/T receptora U.S.A. New York:

$$w = (\text{Cos}40.72) \text{ Cos}[116.8 - 74.02]$$

w = 0.5563

$$E = \text{Tan}^{-1} [(42164.2 - 6378.155 (0.5563)) / (6378.155 (\text{Sen}(\text{Cos}^{-1}0.5563)))] - \text{Cos}^{-1}0.5563$$

E = 25.98°

Distancia entre E/T receptora U.S.A. New York y satélite satmex 5

$$D = [42164.2^2 + 6378.155^2 - (2 (6378.155 (42164.2)) \text{ Sen}(25.98) + \text{Sen}^{-1}((6378.155 / 42164.2) \text{ Cos}25.98))]^{-1/2}$$

D = 38978.21 Km.

ENLACE ASCENDENTE

En la parte ascendente se evalúa la relación $C/N_{ASC\ TOTAL}$, que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre la E/T transmisora y el satélite como receptor, tomando en cuenta a las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace. Primeramente se evalúa la relación $C/N_{ascendente}$, es decir, la relación de potencia de la portadora respecto del ruido propio del equipo receptor del satélite, en el que interviene la potencia de transmisión de la estación terrena conocida como PIRE, las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la pérdida por apuntamiento, la diferencia en alineación de las polaridades de satélite y E/T, la atenuación que produce la lluvia y las características de ruido y ganancia del satélite.

Posteriormente, tienen que evaluarse las diferentes relaciones de interferencia que afectan al enlace ascendente como son las siguientes: C/I o razón de potencia de portadora respecto de la potencia del ruido de intermodulación en el HPA de la E/T transmisora, C/X_{pol} o razón de potencia de portadora respecto de las señales en la polaridad contraria que van hacia el mismo satélite y C/X_{satady} o razón de potencia de portadora respecto de señales que van dirigidas hacia los satélites colindantes al oeste u oeste, que por condiciones del patrón de radiación de las antenas de tierra en transmisión, son dirigidas hacia nuestro satélite.

Los valores que adopta cada una de las relaciones de interferencia anteriores, varían en función de la densidad de potencia que tiene nuestra portadora de comunicación, respecto del número de portadoras procesadas con ella en el mismo amplificador de la E/T donde se transmite (C/I), de si existe o no el reuso 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 es mayor el valor de la potencia de la portadora, respecto del ruido de intermodulación, interferencia por polarización cruzada e interferencia por satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

Relación portadora a densidad de ruido ascendente

$$(C/No)_{asc} = PIRE_{E/T} + (G/T)_{SAT} - K - L_{Sasc} - \mu_{asc} - L\Delta_{asc}$$

Donde:

- $PIRE_{E/T}$ = Potencia Isotrópica radiada efectiva desde la E/T.
- $(G/T)_{SAT}$ = Característica del satélite.
- K = Constante de Boltzman = -228.6 (dBK).
- L_{Sasc} = Pérdidas en el espacio libre ascendentes.
- μ_{asc} = Margen de atenuación por lluvia ascendente.
- $L\Delta_{asc}$ = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización su valor aproximado es de 1 dB.

sustituyendo:

$$\mu_{asc} = 0, \text{ Para la disponibilidad de 99.98 en la banda C}$$

Se propone el valor de 57.83 dBw para la PIRE de E/T.

En ésta metodología se propone el valor de la PIRE de E/T TX, como punto de partida del cálculo. Esta PIRE en términos reales será proporcionada por la combinación de potencia utilizada del HPA y la ganancia de la antena en transmisión

Pérdidas en el Espacio Libre Ascendente

$$L_{S_{asc}} = 20 \text{ Log } [(4\pi * F * D) / C]$$

Siendo: F = Frecuencia ascendente (Hz)
 D = Distancia entre E/T y satélite (m)
 C = Velocidad de la luz (3x10⁸ m/s)

sustituyendo:

$$L_{S_{asc}} = 20 \text{ Log } [4\pi(5.931 \times 10^9)(36538.48 \times 10^3) / 3 \times 10^8]$$

$$L_{S_{asc}} = 199.16 \text{ dB}$$

$$(C/No)_{asc} = 57.83 + 0.48 - (-228.6) - 199.16 - 1.0 \text{ (dB-Hz)}$$

$$(C/No)_{asc} = 86.75 \text{ dB-Hz}$$

Relación portadora a ruido ascendente

$$(C/N)_{asc} = (C/No)_{asc} - 10 \text{ Log}(AB)$$

sustituyendo:

$$(C/N)_{asc} = (86.75) - 10 \text{ Log}(3040.0 \times 10^3)$$

$$(C/N)_{asc} = 21.92 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido ascendente total

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{ASC_{TOTAL}} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_{asc}} / 10 \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{I} / 10 \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{X_{pol}} / 10 \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{X_{satady}} / 10 \right)}} \right]$$

Donde:

$$C/I_{\text{Intermodulación ascendente}} : C/I = - \text{HPA INT} - \text{IPBO} - 10 \text{ Log}(AB)$$

$$C/X_{\text{Polarización cruzada ascendente}} : C/X_{Pol} = - \text{INT}_{ASCCPOL} - \text{IPBO} - 10 \text{ Log}(AB)$$

$$C/X_{\text{Satélite adyacente ascendente}} : C/X_{Satady} = - \text{INT}_{ASCSADY} - \text{IPBO} - 10 \text{ Log}(AB)$$

IPBO DE PORTADORA

$$\text{IPBO} = \text{DFS}_{Tx} - \text{PIRE}_{E/T} + L_{p_{asc}} + \text{ATP} + L_{ATM} + \mu_{asc}$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned}\text{Donde: } L_{p_{asc}} &= 10 \text{ Log } (4 * \pi * D^2) \\ L_{p_{asc}} &= 10 \text{ Log } ((4\pi)(36538.48 \times 10^3)^2) \\ L_{p_{asc}} &= \mathbf{162.25 \text{ dB}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{IPBO} &= -96.72 - 57.83 + 162.25 + 6 + 0.5 + 0 \\ \text{IPBO} &= \mathbf{14.20 \text{ dB}}\end{aligned}$$

C/I_{INTERMODULACION ASCENDENTE}

$$\begin{aligned}\text{C/I} &= - (-106.0) - 14.20 - 10\text{Log}(3.040 \times 10^3) \\ &= 106 - 14.20 - 34.83 \\ \text{C/I} &= \mathbf{56.97 \text{ dB}}\end{aligned}$$

C/X_{POLARIZACION CRUZADA ASCENDENTE}

$$\begin{aligned}\text{C/X}_{\text{Pol}} &= - (-112.5) - 14.20 - 34.83 \\ \text{C/X}_{\text{Pol}} &= \mathbf{63.47 \text{ dB}}\end{aligned}$$

C/X_{SATELITE ADYACENTE ASCENDENTE}

$$\begin{aligned}\text{C/X}_{\text{Satady}} &= - (-110.0) - 14.20 - 34.83 \\ \text{C/X}_{\text{Satady}} &= \mathbf{60.97 \text{ dB}}\end{aligned}$$

sustituyendo:

$$\mathbf{(C/N)_{ASCTOTAL} = 21.91 \text{ dB}}$$

ENLACE DESCENDENTE

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

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

Posteriormente, se evalúan las relaciones de interferencia que afectan al enlace descendente como son: C/I o razón de potencia de portadora respecto a la potencia del ruido de intermodulación en el amplificador correspondiente al transpondedor del Satélite donde se tratará 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 y C/X_{satady} o razón de potencia de portadora 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 y a la coincidencia de coberturas en las mismas frecuencias y polaridad entran a nuestra E/T receptora.

Los valores que adopta cada una de las relaciones de interferencia anteriores, varían en función de la densidad de potencia que tiene nuestra portadora de comunicación, respecto del número de portadoras procesadas con ella en el mismo transpondedor de satélite donde se transmite (C/I), de si existe o no el reusó de frecuencia en el satélite (C/X_{pol}) y del tipo de tráfico que comparte la misma banda de frecuencia cobertura y polaridad con los satélites colindantes, aunado con el patrón de radiación de nuestra antenas receptora que funcionan en nuestro sistema (C/X_{satady}).

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

Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$(C/No)_{desc} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{E/T} - K - L_{S_{desc}} - \mu_{desc} - L\Delta_{desc}$$

Donde:

- $PIRE_{SAT}$ = PIRE de satélite por portadora.
- $(G/T)_{E/T}$ = Característica de la estación terrena receptora.
- K = Constante de Boltzman = -228.6 (dBJ/°K).
- $L_{S_{desc}}$ = Pérdidas en el espacio libre descendentes.
- μ_{desc} = Margen de atenuación por lluvia descendente.
- $L\Delta_{desc}$ = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización su valor aproximado es de 1.0 dB.

sustituyendo:

$$\mu_{desc} = 0, \text{ Para la disponibilidad de 99.98 en la banda C}$$

CÁLCULO DE LA PIRE DE SATÉLITE

$$PIRE_{SAT} = - DFS_{TX} - ATP + IBO - L_{p_{asc}} + PIRE_{E/T} - OBO + PIRE_{SATU(RX)} - L_{atm}$$

Donde: DFS_{TX} = Densidad de Flujo de Saturación hacia la localidad Tx.

$$\begin{aligned} \text{PIRE}_{\text{SATU(RX)}} &= \text{PIRE de saturación hacia la localidad Rx.} \\ L_{\text{atm}} &= 0.0 \end{aligned}$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned} \text{PIRE}_{\text{SAT}} &= - (-96.72) - 6 + 7.5 - 162.25 + 57.83 - 5.0 + 37.60 - 0.0 \\ \text{PIRE}_{\text{SAT}} &= \mathbf{26.40 \text{ dBW}} \end{aligned}$$

PÉRDIDAS POR ESPACIO LIBRE DESCENDENTES:

$$\begin{aligned} L_{\text{Sdesc}} &= 20 \text{ Log} [4\pi(3.706 \times 10^9)(38978.21 \times 10^3) / 3 \times 10^8] \\ L_{\text{Sdesc}} &= \mathbf{195.64 \text{ dB}} \end{aligned}$$

FIGURA DE MÉRITO DE LA E/T U.S.A. NEW YORK:

$$(G/T) = G_{\text{RX}} - (10 \text{ Log}) (T_s)$$

$$T_s = T_{\text{LNA}} + T_{\text{ANTENA}} = 65 + 24.99 \text{ (K)}$$

$$(G/T)_{\text{E/T}} = 43.03 - (10 \text{ Log}) (89.99)$$

$$(G/T)_{\text{E/T}} = \mathbf{23.49 \text{ dB}^\circ\text{K}}$$

sustituyendo en $(C/No)_{\text{desc}}$:

$$\begin{aligned} (C/No)_{\text{desc}} &= 27.98 + 23.49 - (-228.6) - 195.64 - 0.0 - 1.0 \\ (C/No)_{\text{desc}} &= \mathbf{83.43 \text{ dB-Hz}} \end{aligned}$$

RELACIÓN PORTADORA A RUIDO DESCENDENTE

$$(C/N)_{\text{desc}} = (C/No)_{\text{desc}} - 10 \text{ Log}(AB)$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned} (C/N)_{\text{desc}} &= (83.43) - 10 \text{ Log}(3040 \times 10^3) \\ (C/N)_{\text{desc}} &= \mathbf{18.61 \text{ dB}} \end{aligned}$$

RELACIÓN PORTADORA A RUIDO DESCENDENTE TOTAL

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{\text{DESCTOTAL}} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \left(\frac{C}{N_{\text{desc}}} / 10 \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{I} / 10 \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{X_{\text{pol}}} / 10 \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{C}{X_{\text{satady}}} / 10 \right)}} \right]$$

Donde:

$$C/I_{\text{Intermodulación descendente}} : C/I = - \text{SAT}_{\text{INT}} - \text{OPBO} - 10 \text{ Log}(\text{AB})$$

$$C/X_{\text{Polarización cruzada descendente}} : C/X_{\text{Pol}} = - \text{INT}_{\text{DESCPOL}} - \text{OPBO} - 10 \text{ Log}(\text{AB})$$

$$C/X_{\text{Satélite adyacente descendente}}: C/X_{\text{Satady}} = \text{PIRE}_{\text{SAT}} - (\text{INT}_{\text{DESSADY}} - G_{\text{ANT(RX)}}) - 10 \text{ Log}(\text{AB})$$

OPBO DE PORTADORA

$$\text{OPBO} = \text{MOBO} - \text{MIBO} + \text{IPBO}$$

sustituyendo:

$$\text{OPBO} = 5.0 - 7.5 + 14.20$$

$$\text{OPBO} = \mathbf{11.70 \text{ dB}}$$

C/I_{INTERMODULACION DESCENDENTE}

$$C/I = - (-97.2) - 11.70 - 34.83$$

$$C/I = \mathbf{50.67 \text{ dB}}$$

C/X_{POLARIZACION CRUZADA DESCENDENTE}

$$C/X_{\text{Pol}} = - (-107.5) - 11.70 - 324.83$$

$$C/X_{\text{Pol}} = \mathbf{60.97 \text{ dB}}$$

C/X_{SATELITE ADYACENTE DESCENDENTE}

$$C/X_{\text{Satady}} = 26.40 - (-15.00 - 43.03) - 34.83$$

$$C/X_{\text{Satady}} = \mathbf{49.60 \text{ dB}}$$

sustituyendo:

$$\mathbf{(C/N)_{\text{DESCTOTAL}} = 18.60 \text{ dB}}$$

EVALUACIÓN DEL ENLACE

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

RELACIÓN PORTADORA A RUIDO TOTAL

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

sustituyendo:

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{TOTAL} = 16.94 \text{ dB}$$

RELACIÓN DE PORTADORA A RUIDO REQUERIDO

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{REQ.} = E_b/N_o + 10 \text{ Log}(V_{el_{inf}}) - 10 \text{ Log}(AB)$$

sustituyendo:

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{REQ.} = 6.0 + 10 \text{ Log}(4 \times 10^6) - 10 \text{ Log}(3040.0 \times 10^3)$$

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{REQ} = 7.20 \text{ dB}$$

MARGEN DEL ENLACE

$$ME = \left(\frac{C}{N} \right)_{TOTAL} - \left(\frac{C}{N} \right)_{REQ.}$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned} ME &= 16.94 - 7.20 \\ \mathbf{ME} &= \mathbf{9.74 \text{ dB}} \end{aligned}$$

El margen del enlace debe ser mayor o cuando menos igual a cero. En caso de que el margen sea negativo, quiere decir, que nuestro enlace no funcionaria y tendríamos que incrementar la PIRE de E/T propuesta inicialmente y recalcularemos nuevamente, hasta lograr el margen del enlace que nosotros hayamos fijado como condición del diseño del enlace.

PORCENTAJE DE POTENCIA CONSUMIDA POR LA PORTADORA EN EL SATÉLITE

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

sustituyendo:

$$\% \text{ POT} = \left[\text{aLog} \left(\frac{26.40 - 39.21 + 5}{10} \right) \right] * 100$$

$$\% \text{ POT} = 16.56 \%$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA EN EL HPA

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = \text{PIRE}_{\text{E/T}} - G_{\text{Tx}} + L_{\text{HPA Y ANT}}$$

sustituyendo valores:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = 57.83 - 45.88 + 0.5$$

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = 12.45 \text{ dBW}$$

y en Watts:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = \text{aLog}(12.45 \text{ dBW} / 10)$$

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = 17.58 \text{ W}$$

Nota: No es recomendable que el valor del HPA quede justo con relación al valor calculado, deberá considerarse el Back-off recomendado por el fabricante.

CAPITULO III

ANTENAS Y ESTACIONES TERRENAS

3.1 Tipos de antenas

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibeles en relación con la potencia radiada o recibida por una antena isotrópica (dBi). Una antena isotrópica es una antena ficticia que radia simultáneamente con la misma densidad de potencia en todas direcciones alrededor de ella. Se emplea como referencia y se supone que recibe la misma potencia de alimentación que la antena real. Por lo tanto siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir algo, y la mínima en todas aquellas otras direcciones que no sean de interés; de allí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo más pequeños que sea posible, para que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites o sistemas terrestres de microondas o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas o innecesarias. Estrictamente la ganancia de una antena tienen siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el lóbulo principal de su patrón de radiación, su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo. Cuanto mayor sea el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia, su haz o lóbulo principal de radiación es más angosto y los lóbulos secundarios se reducen.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en un punto común llamado foco (modo de recepción), así mismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación (modo de transmisión). Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena y en él se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta; el tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Hay varios tipos de alimentación de una antena parabólica, pero los más utilizadas son antenas foco primario, antenas cassegrain, antenas foco desplazado (offset).

Antena foco primario

En una antena parabólica foco primario el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena y la apertura por la que radia está orientada hacia el suelo; esto último presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede

degradar la calidad de la señal transmitida. Así mismo, si la antena está recibiendo del satélite los rayos que incidan sobre el piso cerca de la antena se reflejan hacia el alimentador y pueden causar una degradación en la calidad de la señal reflejados en plato parabólico. El desborde de la radiación del alimentador se puede reducir si se aumenta el diámetro de la antena o si se utiliza un alimentador de mayor directividad. A pesar de tales desventajas, incluyendo la del montaje del equipo electrónico inmediatamente atrás del alimentador, esta antena resulta fácil y económica de construir y para ciertos fines su operación es satisfactoria, por lo que se usa casi universalmente.

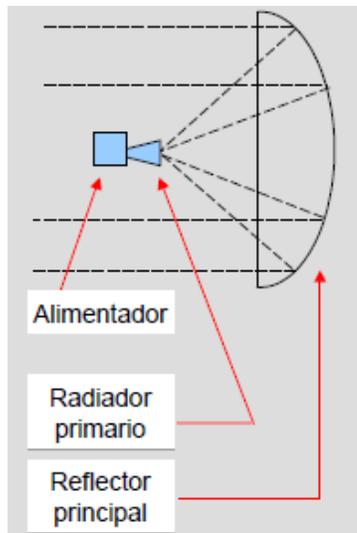


Figura 3.1. Antena parabólica foco primario, configuración simple, diámetros de 3 a 30 m.

Antena Cassegrain

La antena Cassegrain es mucho más eficiente que cualquiera de los otros tipos y su ganancia es mayor, pero su precio es más alto. Se utiliza la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, así como en todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de telefonía y datos. Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado subreflector y el alimentador o corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la Tierra sino principalmente por emisiones de la atmosfera. Los ejes de la parábola, el alimentador y la hipérbola coinciden y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y con un alimentador más alejado de su vértice, de esta forma la parábola equivalente captura mejor la energía radiada por la corneta y el desborde se reduce significativamente. Además con el diseño de Cassegrain se tiene la ventaja de que el equipo de que el equipo electrónico se puede colocar sin problemas en una cabina inmediatamente atrás del alimentador y sin importar mucho su peso y dimensiones, reduciéndose así todo tipo de pérdidas por cableado.

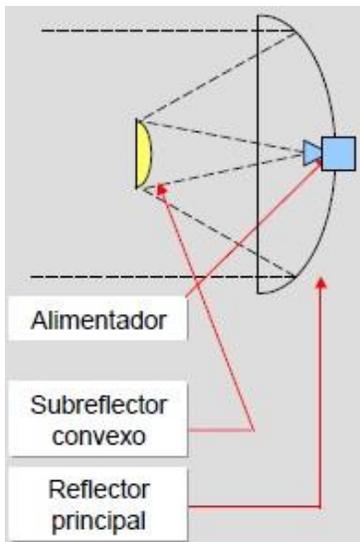


Figura 3.2. Antena Cassegrain. Emplea un subreflector convexo, alta eficiencia y baja temperatura de ruido.

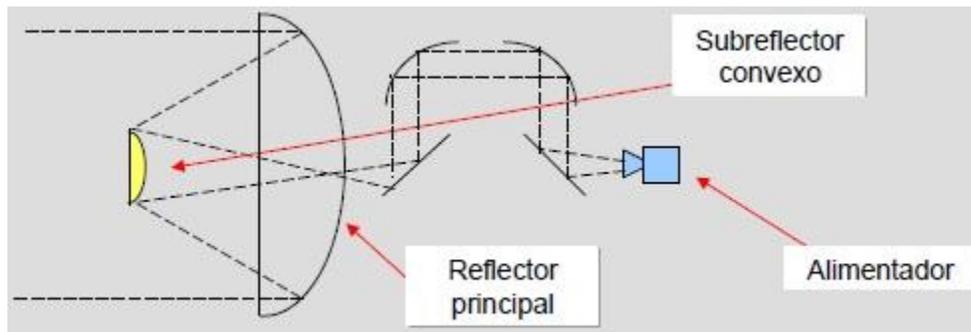


Figura 3.3. Antena Cassegrain II.

Antena Offset

El bloqueo del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se puede eliminar si se utiliza una antena de foco desplazado u offset. En este caso solo se emplea una sección del plato parabólico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir los ejes del alimentador y del paraboloide no coinciden, de allí el nombre de antena offset. Sin embargo la construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es más costosa que la de alimentación foco primario, además de que no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica. De cualquier forma este tipo de antena se utiliza en varias estaciones terrenas receptoras y transmisoras de televisión, telefonía y datos, aunque la Cassegrain es mucho más popular.

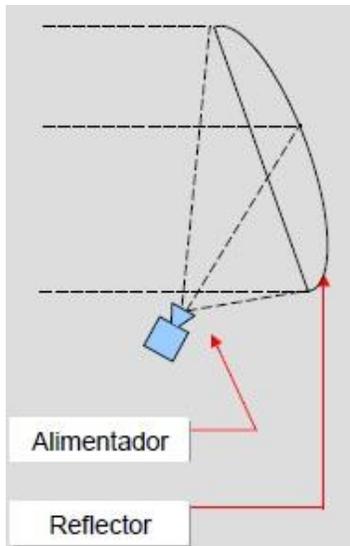


Figura 3.4. Antena Offset. Excelente patrón de radiación y bajo ruido debido a que el alimentador ya no bloquea la señal.

Antena Gregoriana

Este tipo de antena es algo similar a la antena Cassegrain, solo cambia su configuración en el subreflector, porque para esta antena emplea un subreflector cóncavo, como se ilustra en la Figura 3.5, comparte características muy similares a la Cassegrain ya que es una antena de alta eficiencia y baja temperatura de ruido.

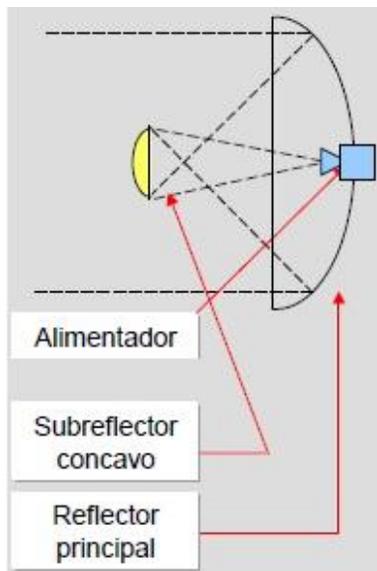


Figura 3.5. Antena Gregoriana.

Antena Cassegrain con offset

Es una de las antenas con foco y alimentador desplazado, emplea un reflector secundario convexo, cuenta con excelente patrón de radiación y bajo ruido debido a que el alimentador ya no bloquea la señal, excelente Razón de Onda Estacionaria (ROE), alta eficiencia y tiene aplicación en estaciones terrenas medianas.

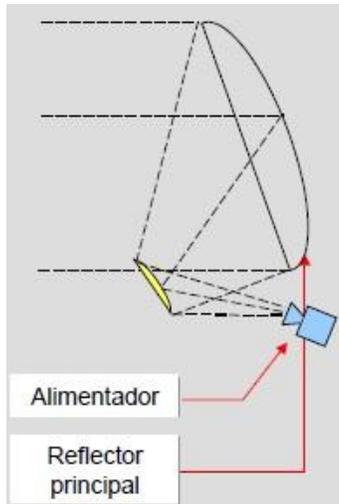


Figura 3.6. Antena Cassegrain con offset.

Antena Torus

Este tipo de antena sigue a un satélite geoestacionario sin mover su reflector principal, ajustando el haz moviendo el alimentador, dentro de las características para este caso desventaja por patrón de radiación pobre, existe la posibilidad de multihaz con varios alimentadores, tiene una aplicación para estaciones terrenas receptoras de varios satélites.

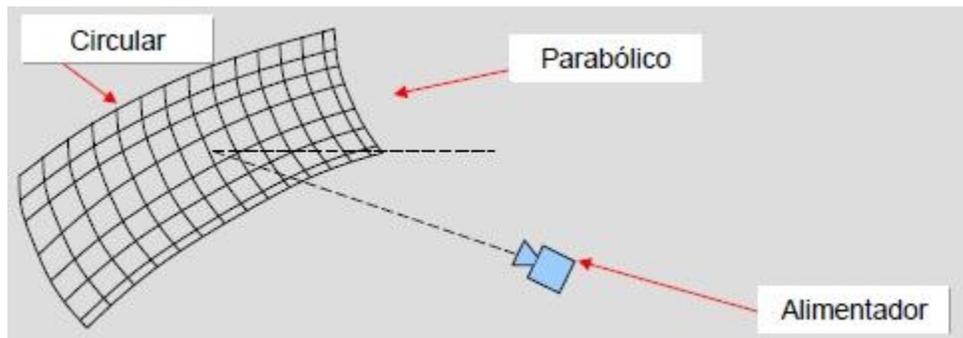


Figura 3.7. Antena Torus.

3.2 Estaciones terrenas fijas

Una estación terrena es un equipo con una antena o un conjunto de equipos con antenas, que pueden tener un extremo de entrada y salida de señales de comunicación en banda base o en frecuencia intermedia y otro de transmisión y de recepción de radiaciones hacia y desde uno o más satélites. En cada una se realiza una parte importante del proceso de dichas señales para hacer posible y eficiente su transmisión, así como del proceso inverso para convertir las radiaciones recibidas en una reproducción fiel de las señales en la forma que tenían antes de que fueran procesadas y transmitidas por otra estación terrena. Cabe mencionar que algunos tipos de estaciones terrenas solo tienen capacidad de transmitir o recibir y que pueden ser el punto de origen o final de las señales o estar enlazadas también por medios terrenales con sitios distantes de origen y

destino. La designación de estación terrena incluye tanto a las que están fijas sobre la superficie de la Tierra, a las móviles terrestres, marítimas y aeronáuticas instaladas en los vehículos de transporte, como a las portátiles personales.

El tamaño y la complejidad mecánica y eléctrica de las estaciones terrenas tienen extremos verdaderamente dispares, ya que las primeras estaciones del sistema Intelsat que fueron instaladas con antena denominada tipo A contaban con reflector de 33 m. de diámetro, en tanto que las remotas típicas de muy pequeña abertura de las redes conocidas como VSAT es de solo 1.8 a 2.4 m. en banda KU, teniendo capacidad de transmisión y recepción de uno o pocos canales y las de recepción directa de televisión más modernas pueden tener un reflector de solo 0.5 m. de diámetro en ubicaciones favorables de la zona de cobertura, siendo el resto de su equipo receptor muy compacto a pesar del extenso procesamiento que hace que las señales, gracias a su fabricación en masa con componentes de microelectrónica.

Las estaciones físicamente mas grandes se emplean para operar con alta capacidad de tráfico en sistemas de satélites geoestacionarios de cobertura global. Lo anterior se debe a que la cobertura casi total de la parte iluminable de la Tierra desde un satélite, hace necesario utilizar en este antenas de poca ganancia ya que se requiere mucha anchura de banda por el alto tráfico y consecuentemente mas PIRE que la necesaria para estaciones con trafico de portadoras angostas, por lo que las antenas de la estación terrena deben tener ganancia suficiente, o sea suficiente diámetro, para atender ambas condiciones, pero al mismo tiempo tener alta retención de potencia en los amplificadores de salida para lograr buena linealidad. Otro factor determinante del tamaño del reflector de dichas estaciones consiste en que las situadas en la periferia de una cobertura global reciben del satélite una PIRE menor y más inestable y deben transmitirle más potencia y como su ángulo de elevación es muy bajo tiene perdidas atmosféricas aleatorias mayores.

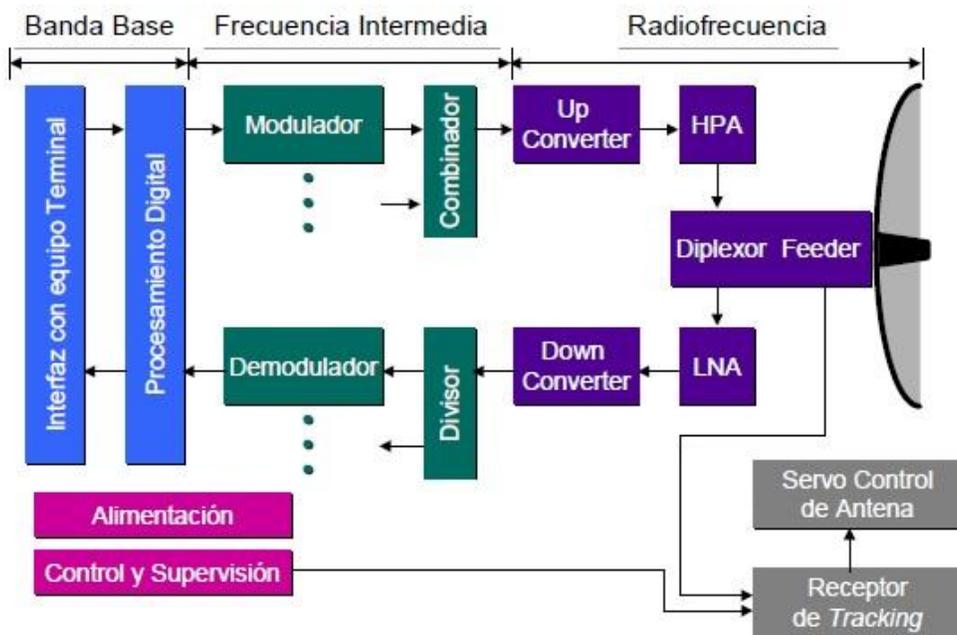


Figura 3.8 Diagrama funcional de una E.T.

La Figura 3.8 presenta el diagrama funcional de una estación terrena de alta capacidad, con reflector de antena grande provisto de un sistema de seguimiento o rastreo, el cual en cualquier caso tiene mucho menor diámetro que los requeridos anteriormente, gracias a la alta potencia emitida por los satélites actuales.

Las partes más importantes de la estación terrena son:

El sistema de antena

Normalmente la misma antena sirve para transmisión y recepción. Este sistema incluye el alimentador primario, el reflector, un arreglo de duplexor para la conexión de receptores y transmisores a la misma antena y un arreglo separado de alimentadores, controles y mecanismos para seguimiento automático. En un telepuerto un conjunto de cadenas de recepción y transmisión puede combinarse con diversos sistemas de antena para operar con distintos satélites según las necesidades de tráfico.

Los transmisores y receptores

Pueden emplearse una o más cadenas de transmisión que constan esencialmente de los amplificadores de potencia cuyas salidas se pueden combinar y de los convertidores elevadores o de subida, ya que los demás procesos pueden realizarse en distintos a la estación terrena. Las etapas de recepción incluyen uno o más amplificadores de bajo ruido, un divisor de potencia para separar las cadenas de recepción. Dependiendo de la capacidad de la estación terrena se elige el sistema redundante, esto es un sistema 1+1, una cadena de transmisión y una cadena de respaldo, para ser activada automáticamente en caso de falla de alguno de los dispositivos que conforman la cadena de transmisión o recepción satelital. Conjuntamente el sistema de antena, los transmisores y los receptores que en algunos casos forman la totalidad de los equipos de la estación, constituyen la terminal de radiofrecuencia.

Los moduladores y demoduladores

Esta etapa modula las señales por transmitir y demodula las recibidas lo cual implica la conversión de banda de base a frecuencia intermedia y el proceso inverso. En las estaciones que tienen capacidad para transmitir y recibir cada modulador puede estar separado o encontrarse en la misma unidad de equipo que el modulador correspondiente constituyendo un modem.

Los procesadores en banda base

Hay una diversidad de equipos en esta categoría, pero existen, en una estación grande pueden limitarse a los que realizan las funciones de multiplexar y demultiplexar. Paradójicamente en las estaciones pequeñas es más probable que se realicen funciones adicionales como la conversión analógico a digital y

viceversa y la codificación y decodificación de canal, como es el caso de las estaciones remotas VSAT, las móviles y las de recepción directa de televisión por satélite, pero se limitan a procesar solo uno o dos canales simultáneamente, en tanto que en las estaciones grandes se manejan muchos más canales al mismo tiempo.

Las interfaces con redes terrenales

Esta parte de la estación permite comunicar su extremo de frecuencias más bajas con diversos puntos de origen y destino de las señales y normalmente se encuentra en las del tipo que estamos considerando, operando hacia el exterior por medio de fibra óptica, líneas físicas metálicas o radio enlaces, mientras que es común que no exista en estaciones pequeñas como las mencionadas en el párrafo anterior.

El sistema de energía y la infraestructura general

Esta parte de la estación realiza funciones de apoyo similares a las que en los satélites están asignadas a la plataforma. En el tipo de estaciones que estamos considerando el sistema de energía, debido a la importancia y magnitud de los servicios que presta, debe operar en forma ininterrumpida y dentro de límites normativos estrechos respecto de tensión, frecuencia y perturbaciones transitorias, cuando menos para sus partes más críticas que corresponden a los equipos de comunicaciones y sus instalaciones de apoyo, aun cuando para los servicios auxiliares y oficinas tenga especificaciones más relajadas. La infraestructura general comprende los edificios y obras exteriores, estructuras de soporte mecánico e instalaciones de apoyo como los equipos de climatización.

El sistema de supervisión, control y comunicación del servicio

Los equipos que permiten la vigilancia y control de la operación de una estación compleja incluyen las alarmas visuales y audibles (en caso de falla), los controles para conmutar equipos y dispositivos que son independientes de la comunicación automática de los de reserva y los controles generales de los subsistemas. Los sistemas más recientes permiten efectuar gran parte de la supervisión y telemando por medio de pantallas y teclados de terminales de cómputo de consolas. Los canales de servicio permiten la comunicación entre estaciones de una red de servicio público por satélite en forma independiente de los servicios de comunicación de los usuarios finales.

La figura 3.9 muestra un ejemplo de plano de distribución de un telepuerto con varias antenas de diámetro medio (10 a 15 m.), sin considerar áreas de estacionamiento y otras áreas e instalaciones exteriores.

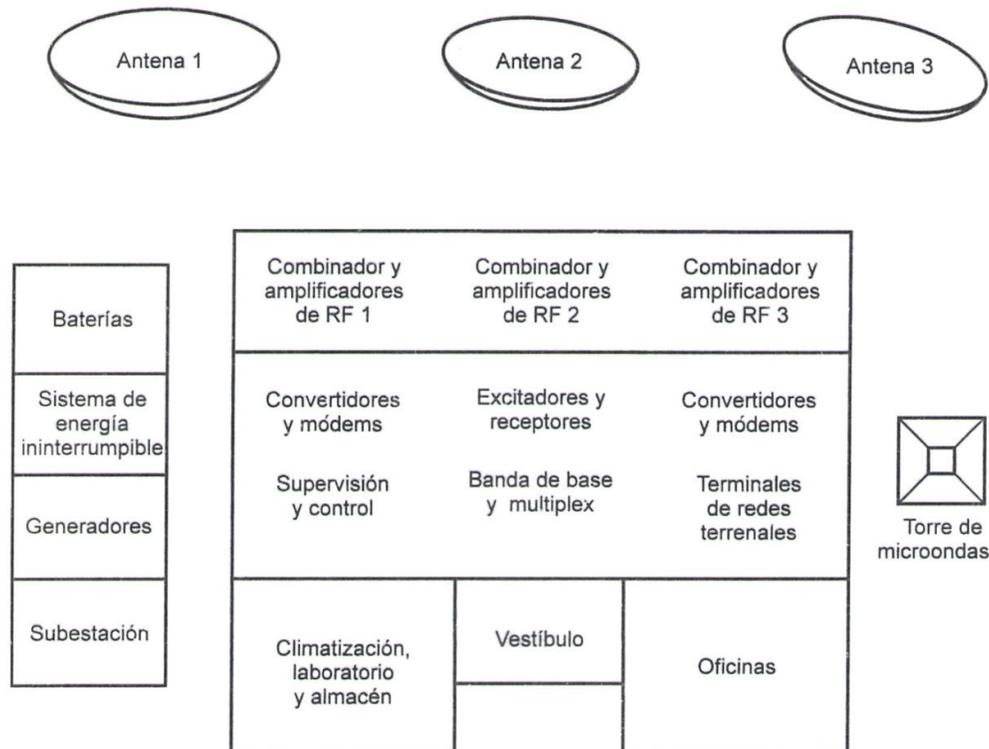


Figura 3.9. Plano de distribución de áreas y equipos de un telepuerto.

3.3 Estaciones terrenas móviles

A casi un cuarto de siglo de haberse iniciado en la transmisión de señales de televisión por medio de tecnología de punta, y por el interés de aprovechar al máximo las aplicaciones que le puede dar a su sistema de satélites a través del avance de las telecomunicaciones, ahora, México ha manifestado el deseo de contar con la infraestructura necesaria para lograr transmitir señales de televisión desde cualquier punto del interior de nuestro territorio. Es evidente que con los satélites, el desarrollo de la telefonía rural se ha venido incrementando, logrando con esto una mayor comunicación. En ocasiones no basta con solo el servicio telefónico, a veces se presentan sucesos en lugares alejados que requieren la transmisión de señales de televisión, en estos casos se emplea una estación terrena móvil, para dar servicio del tipo ocasional.

En las estaciones terrenas móviles se tiene la opción de trabajar en las bandas Ku ó C, tomando en cuenta los requerimientos del servicio para la decisión de cierta banda. El decidir en la utilización de una banda u otra involucra obtener factores favorables y desfavorables de una banda con respecto a la otra. Los efectos climatológicos como la lluvia afectan más a la banda Ku que a la banda C, ya que provocan atenuación en la señal, con esto se hace necesario el aumento de la potencia en el amplificador para compensar dicha atenuación, por otro lado, este problema no se presenta en la banda C, ya que estos efectos se consideran despreciables en esta banda.

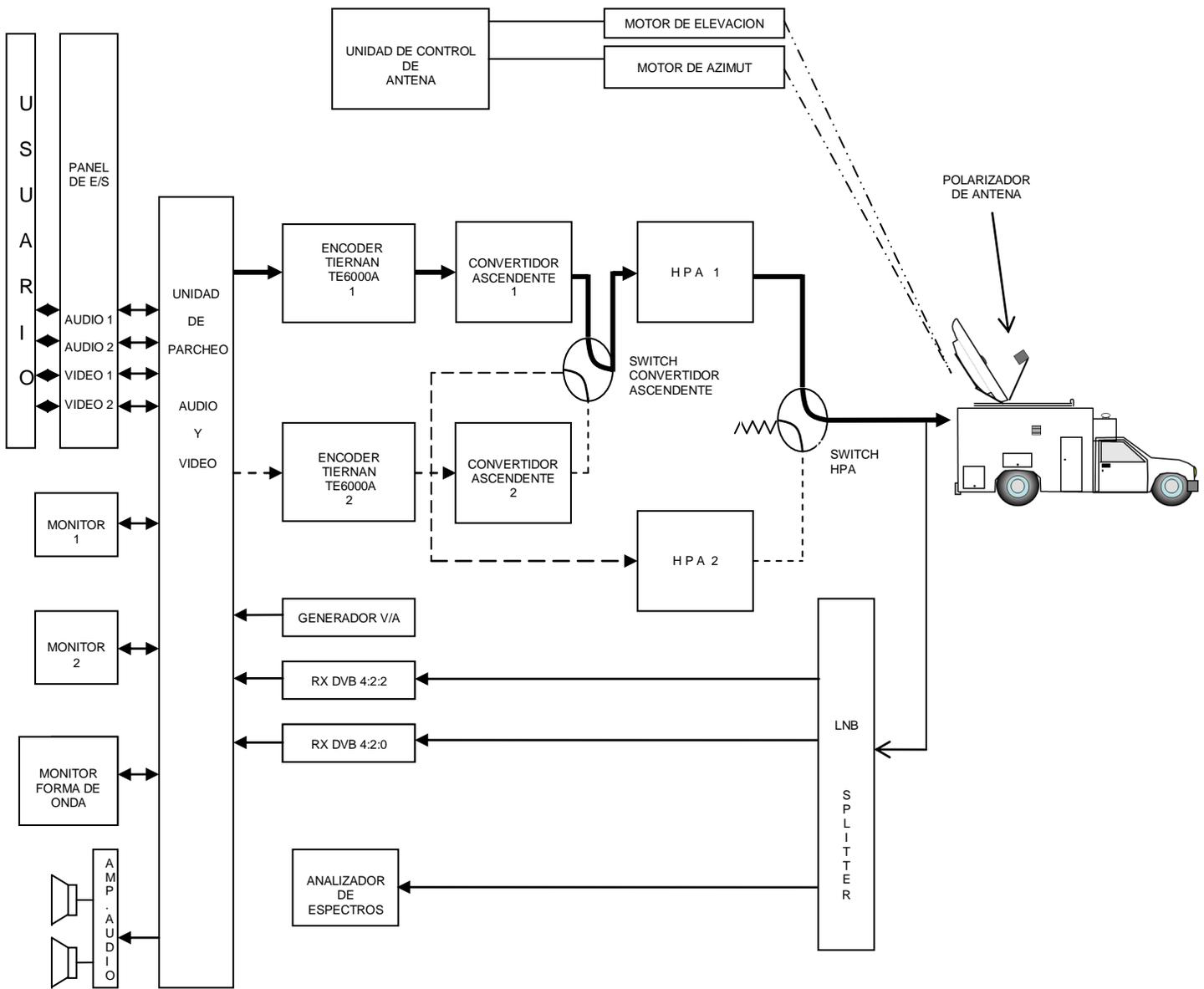


Figura 3.10. Diagrama a bloques de una estación terrena móvil para servicio de transmisión de televisión digital.

El sistema de equipos de una estación terrena móvil, es similar o igual a una estación terrena fija, pero con equipos compactos y portátiles ahorrando espacio para los operadores y de manera que no sea tan pesado el equipo para el vehículo donde se traslada dicha estación. Esta estación terrena debe ser práctica y de rápida instalación, ya que se utiliza frecuentemente en situaciones donde se requiere de rapidez para transmitir una señal, por ejemplo una noticia de último momento, un desastre natural, una conferencia, un programa de televisión, etc. La aplicación de las comunicaciones móviles tiene una gran trascendencia en los más diversos ámbitos de la vida. Influye de modo creciente en la economía por su

utilización en la gestión del transporte, potencia la seguridad y el esfuerzo de la ley, colabora en la sanidad y es de ayuda inestimable para emergencias, búsqueda y rescate. Las comunicaciones móviles pueden hacer realidad la posibilidad de comunicación en prácticamente cualquier circunstancia, aportando respaldo y tranquilidad al individuo mediante esa disponibilidad constante del contacto inmediato con la sociedad. Las comunicaciones móviles cuentan con una gran variedad de modalidades según las características técnicas de los sistemas, dependiendo su comportamiento básicamente del entorno orográfico y de edificación en que se desenvuelve el móvil.

3.4 Mantenimiento de estaciones terrenas

El objetivo principal del mantenimiento preventivo a una estación terrena es crear conciencia de la necesidad de implantar procedimientos encaminados a tener una excelente infraestructura terrestre sin necesidad de tener que esperar a que alguna falla ocurra para corregirla. El mantenimiento preventivo programado nos ayuda a minimizar los impactos de las fallas en el futuro.

Los procedimientos que aquí se mencionarán son una serie de recomendaciones para tener en óptimas condiciones de operación la estación terrena. Es recomendable calendarizar las actividades para realizar el mantenimiento preventivo en base a las recomendaciones del fabricante del equipo y a la experiencia adquirida.

Engrasado de mecanismos y lubricado de motores

Hay que seguir las recomendaciones del fabricante para el uso de grasas y aceites lubricantes, con el fin de evitar que los motores y mecanismos trabajen de manera forzada y así prolongar su vida útil. Hay que engrasar la antena solo si cuenta con graseras, se bombea grasa hasta que salga la grasa nueva por los costados y se retira la grasa sucia.

Para el aceite de motores se recomienda el rellenado hasta el nivel indicado en el propio motor, pero si no se ha hecho el mantenimiento frecuentemente se recomienda su cambio total.

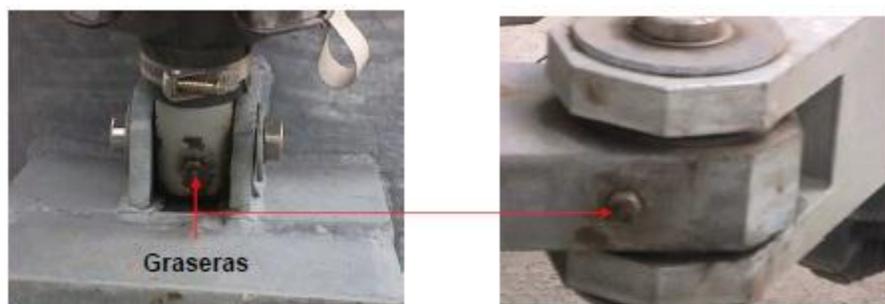


Figura 3.11. Graseras de actuadores de una antena parabólica.

Inspección visual de la antena

Para mantener la apariencia y funcionalidad de la antena hay que evitar que el agua se estanque, para esto se hacen hoyos para facilitar su drenado, también se deben verificar las partes donde se hayan soldado la estructura galvanizada, ya que el recubrimiento de zinc se puede perder e iniciar la oxidación si esto sucediera hay que eliminarla usando algún producto que inhiba la corrosión.

Al almacenarse agua en el reflector de la antena, como se ilustra en la Figura 3.12 se produce alteraciones en su geometría, que puede afectar el nivel de señal.



Figura 3.12. Reflector con estancamiento de agua.

Inspección visual de conectores y guías de onda

Se requiere inspeccionar que no haya soldaduras frías, que los conectores estén bien apretados, que los cables estén bien hechos, evitar la acumulación de polvo y residuos metálicos del propio conector. Todos estos factores afectan a la calidad de la señal, en la amplitud, induciendo rizados ó permitiendo que señales presentes en el ambiente se acoplen al enlace y generen algún tipo de interferencia.

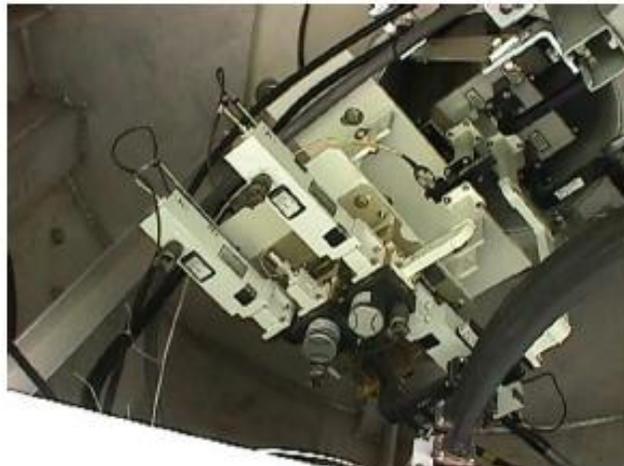


Figura 3.13. Conectores, circuladores y guías de onda.

Cuidado de la apariencia superficie reflectiva

El reflector de la antena parabólica, es una superficie que ha sido previamente pintada con pintura de poliuretano en polvo que tiene la finalidad de dar un terminado rugoso (microscópico) a la superficie que facilita la dispersión de los rayos ultravioleta del sol.

Los recubrimientos de poliuretano son productos de dos componentes que forman una película plástica de gran flexibilidad y alta resistencia a ambientes corrosivos. Estos recubrimientos son utilizados en áreas donde se requiere alta protección y excelente apariencia y resistencia química, alta resistencia a los rayos UV, alta resistencia a la abrasión, resistencia a los cambios bruscos de temperatura, flexibles, elásticos y con retención del brillo y color. Para tener en excelentes condiciones la superficie reflectiva, se recomienda el uso de los siguientes tipos de pintura ó similares, según la marca a usar, se dan algunas recomendaciones para su aplicación en la superficie del reflector.



Figura 3.14. Antenas en mantenimiento.

Recubrimiento rico en zinc, ofrecen dureza y protección galvánica a las superficies. Los productos de zinc están formulados para funcionar en ambientes corrosivos, recubiertos con acabados resistentes.

Primario orgánico de zinc, el primario Corlar 825-16019 puede ser primario en estructura nueva o instalaciones industriales. Ofrece una extraordinaria protección para ambientes muy húmedos y corrosivos.

Primario y acabado epóxicos, los recubrimientos epóxicos son usualmente productos catalizados de dos componentes, para ser utilizados como primarios, intermedios o acabados en ambientes agresivos por humedad, agentes químicos y solventes.

Procedimiento sugerido para el pintado de antenas

De preferencia, pintar las antenas cuando el medio ambiente sea propicio para esta actividad. Protección de cables, guías de onda y equipos cercanos para evitar que sean pintados ó sufran algún daño durante este trabajo. Retiro del recubrimiento existente (ó la parte afectada) utilizando un removedor de pintura sin

que afecte la superficie metálica. Desengrasar la superficie utilizando un solvente especial para asegurar la perfecta adherencia de la pintura a aplicar. Aplicar una capa de primario epóxico catalizado de dos componentes marca ó equivalente. Aplicar la capa de acabado con esmalte de poliuretano catalizado de dos capas de muy alta resistencia. Después de un secado de 48 horas se puede colocar algún logotipo.

Mantenimiento a equipos de transmisión

Se realiza la limpieza de filtros de malla de ventilación a equipos de transmisión, limpieza y sopleteado de la parte electrónica de los equipos, para evitar que la acumulación de polvo cause algún problema entre componentes electrónicos y mecánicos, tanto en las cadenas de transmisión como en las de recepción.

Limpieza de filtros de aire acondicionado, racks, cableado, estructuras de instalación, para optimizar el funcionamiento de la estación terrena.

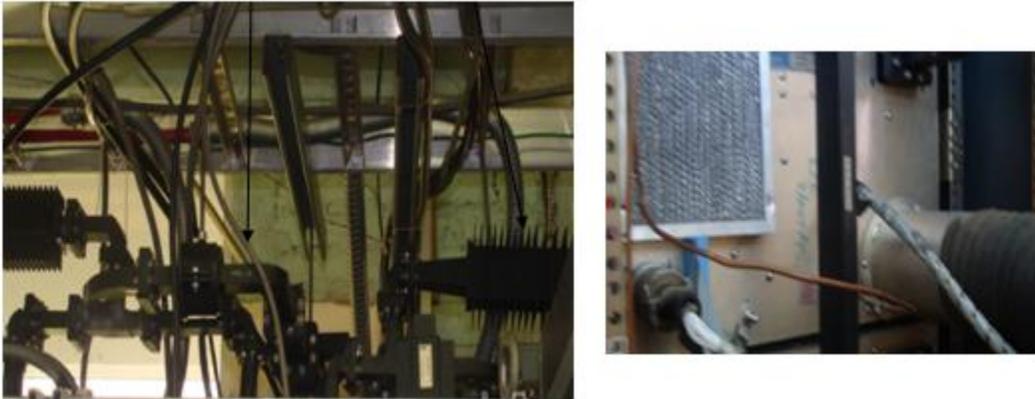


Figura 3.15. Estructuras y filtros de una E.T.

Procedimiento para el rastreo de fallas

Los aspectos generales a considerar son los siguientes:

1. Identificar el tipo de falla (pérdida total de señal, atenuación, distorsión, corrimiento en frecuencia).
2. Respuesta en frecuencia (cables, acopladores direccionales coaxiales y de guía de onda, combinadores, acopladores de impedancia, atenuadores, equipos involucrados, etc.).
3. Impedancia (cables, combinadores, acopladores de impedancia, atenuadores).
4. Atenuación (cables, atenuadores, conectores adaptadores por ejemplo convertidores N macho - SMA macho, BNC hembra – N macho, etc.).
5. Ganancia (de los equipos involucrados).

Revisar que ninguno de los equipos involucrados estén alarmados, posteriormente rastrear la señal a la entrada y salida de cada equipo y/o dispositivo que se encuentre en la trayectoria, verificando que los niveles de señal, amplitud, frecuencia y ancho de banda, estén dentro del rango que determina el fabricante.

Equipo mínimo necesario:

- Analizador de espectros
- Multímetro
- Medidor de potencia

Pasos a seguir en el rastreo de fallas:

1. El enlace satelital debe de estar fuera de línea antes de iniciar cualquier actividad, teniendo especial cuidado en la etapa de potencia, asegúrese que este apagada.
2. Para facilitar el rastreo de fallas en el futuro, se recomienda incluir puntos de monitoreo en lugares estratégicos, así como contar con un diagrama del enlace satelital que incluya niveles y frecuencias.
3. Efectuar la limpieza de conectores y revisión de los cables involucrados, limpiar los conectores con spray limpia contactos que no ataque a plásticos ó usar alcohol isopropílico con cotonetes (hisopos).
4. Corregir falsos contactos, verificar que los cables y/o guías de onda estén en buen estado y si hay duda se tendrá que verificar su funcionalidad (atenuación, impedancia y respuesta en frecuencia).
5. Medir voltajes de alimentación, a los LNA's ó a los LNB's, si es el caso.
6. Medir continuidad en cables, de los cuales se tenga duda, si es el caso.
7. Verificar la trayectoria de la señal a través de cada uno de los elementos de la cadena ascendente y/o descendente, según sea el caso.
8. Para detectar cual es el equipo (elemento activo) que tiene el problema, es necesario saber las especificaciones técnicas de cada equipo involucrado como: nivel máximo de entrada, rango de frecuencia empleado y su nivel de salida (ganancia).
9. Si es un elemento pasivo, su atenuación, su respuesta en frecuencia y el factor de acoplo en el caso de los acopladores direccionales.

En conclusión los puntos importantes a considerar para tener la estación terrena en óptimas condiciones y facilitar su mantenimiento preventivo y/o correctivo son los siguientes:

1. Verificar que el aterrizaje de la antena y equipos sea el correcto, para evitar inducciones de señal que pueden convertirse en interferencias.
2. Poner cargas a los divisores de señal con puertos libres, para evitar desacoplamientos e inducciones.
3. Tener el diagrama a bloques y el de niveles, es recomendable contar con el diagrama del enlace y sobre de él hacer un diagrama de niveles de señal (puntos de monitoreo), para la rápida detección de cualquier tipo de falla.
4. Verificar la Impedancia de cables y equipos para evitar desacoplamientos. Usualmente la impedancia que se maneja en la etapa de Radio Frecuencia es de 50 ohms y en la de Frecuencia Intermedia es de 75 ohms.

CAPITULO IV

INTERFERENCIAS EN LAS COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

4.1 Análisis y tipos de interferencias

Los enlaces vía satélite son susceptibles a las interferencias por radiofrecuencia por hacer uso del espectro radioeléctrico. Una interferencia se define como el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

La refracción, la reflexión y la difracción pertenecen a la óptica geométrica y eso quiere decir que su comportamiento se analiza principalmente en función de rayos y de frentes de onda. Por otro lado la interferencia está sujeta al principio de la superposición lineal de las ondas electromagnéticas y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto del espacio en forma simultánea. Ciertos tipos de medios de propagación tienen propiedades no lineales; sin embargo, en un medio ordinario como la atmosfera terrestre es válida la superposición lineal.

Existen diferentes tipos de interferencias las principales o más afectantes se describen a continuación:

Interferencia solar

Ocurren cuando el sol cruza el plano ecuatorial de la Tierra y queda alineado con el satélite y el haz de la antena de una estación terrena como se ilustra en la Figura 4.1. Esto provoca un incremento importante en la temperatura de la antena que interfiere con la operación normal.

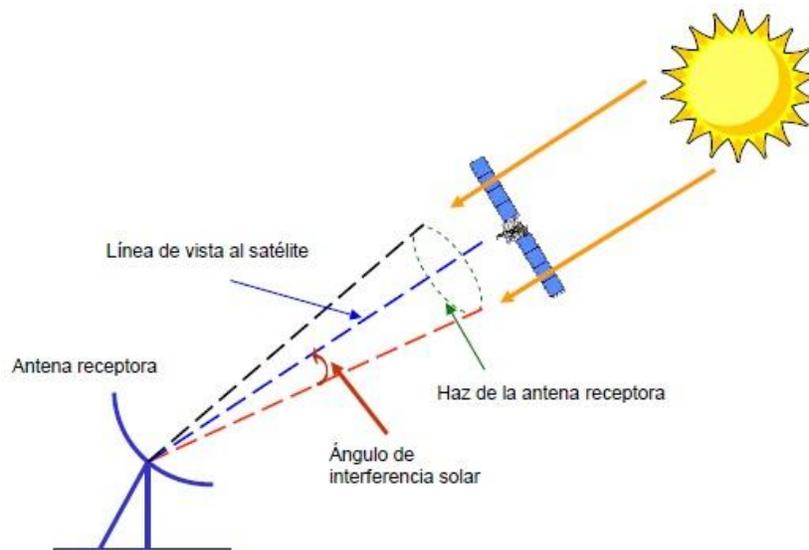


Figura 4.1. Interferencia solar.

Se trata de un fenómeno predecible que depende de la posición geográfica de la estación terrena y la longitud del satélite. Tiene una duración de algunos minutos y es mayor mientras más pequeño es el diámetro de una antena, ya que tiene un haz con mayor apertura. El fenómeno se presenta dos veces al año, durante el equinoccio de primavera (de finales de febrero a principios de marzo) y durante el de otoño (de finales de septiembre a principios de octubre).

Interferencias por radiofrecuencia

Existen dos tipos de interferencias por radiofrecuencia, la primera interferencias accidentales de las cuales son fallas de equipos, errores humanos, falta de mantenimiento, accesos sin coordinación y microondas terrestres; la segunda interferencias intencionales lo que se describe como transmisiones no autorizadas.

Interferencia por satélite adyacente

La afectación por interferencia por satélite adyacente está determinada por la característica de radiación de la antena de la estación terrena, ya que existen muchas antenas que transmiten y reciben señales todo el tiempo, donde la antena debe de cumplir con ciertas características la más importante que se apruebe su patrón de radiación, para interferir lo menos posible hacia otros satélites. Es de suma importancia el diámetro de antena ya que existen diámetros mínimos permitidos para transmisión en diferentes tipos de bandas, entre mayor sea el diámetro es menor la interferencia y si disminuye el diámetro la interferencia por satélite adyacente aumenta.

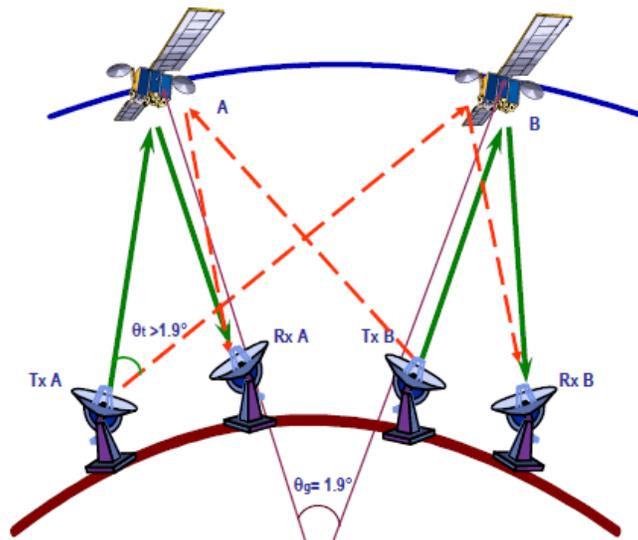


Figura 4.2. Interferencia por satélite adyacente.

Todas las estaciones transmisoras deben cumplir con una densidad máxima de PIRE en dirección de los satélites adyacentes a 1.9° , conforme la siguiente tabla:

Banda	Densidad máxima de PIRE de estación terrena (dBW/MHz)
C	32.6
Ku	27.0

Interferencia por retransmisión de VHF

Un tipo de interferencia muy común en las comunicaciones satelitales es la generación de retransmisión de señales de FM causada por una estación terrena debido a cables y conectores en mal estado o mal colocados en la etapa de FI, en la Figura 4.3 se observa en la pantalla de analizador de espectros la interferencia por retransmisión de FM.

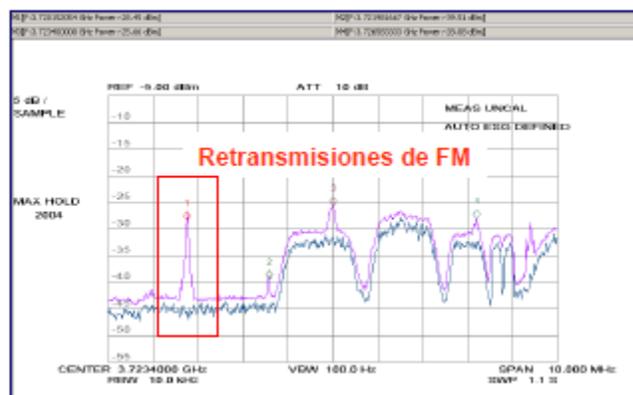


Figura 4.3. Interferencia por retransmisiones VHF.

Interferencia por intermodulación

La intermodulación es un proceso natural que ocurre cuando múltiples señales pasan a través de un dispositivo, sistema o medio no lineal, manifestándose en la generación de nuevas frecuencias. La mayor parte de la interferencia por intermodulación se produce cuando las armónicas o las frecuencias de producto cruzado de una fuente llegan a la banda de paso de un canal vecino.

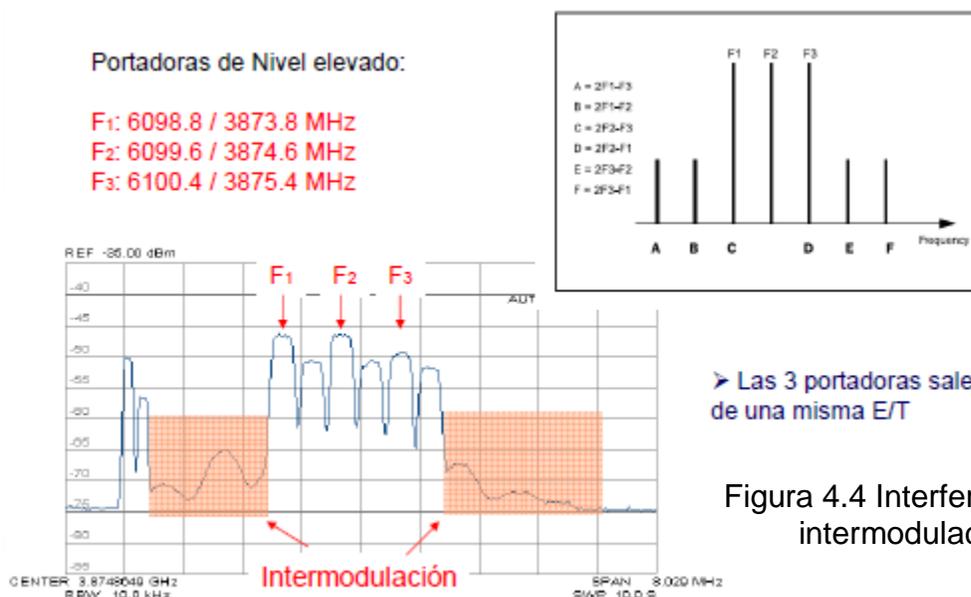


Figura 4.4 Interferencia por intermodulación.

La Figura 4.4 ilustra un ejemplo de intermodulación, donde se registran 3 portadoras con un nivel elevado en amplitud, es decir con sobre potencia y operación del amplificador de alta potencia en su región no lineal a la transmisión, en los extremos del espectro se observa el levantamiento del piso de ruido, representado como armónicas debido a la intermodulación de dichas portadoras.

Interferencias terrestres

Dentro de las interferencias terrestres destacan las microondas, WiMAX y radares; de las cuales se explica a continuación.

Un radioenlace terrestre o microondas terrestre provee conectividad entre dos sitios (estaciones terrenales) en línea de vista, usando equipo de radio con frecuencias de portadora por encima de 1 GHz. La forma de onda emitida puede ser analógica (convencionalmente en FM) o digital. El equipo de microondas que opera entre 2 y 6 GHz puede transmitir a distancias entre 20 y 30 millas.

Las principales aplicaciones de un sistema de microondas terrestre son las siguientes: telefonía básica (canales telefónicos), datos, telégrafo, canales de televisión, video y telefonía celular (entre troncales).

En comunicación satelital se utilizan frecuencias de operación que puede ser cercanas a las utilizadas por microondas por lo tanto se interfiere en el enlace descendente de satélite como se ilustra en la Figura 4.5.



Figura 4.5. Interferencia terrestre por enlace de microondas.

Las microondas WiMAX (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), corresponden al estándar de transmisión inalámbrica de datos (IEEE 802.16 MAN) capaz de proporcionar accesos concurrentes en áreas de 40 a 70 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa con las estaciones base. Su rango frecuencias de operación es de 2 a 11 GHz. Por lo tanto interfieren del mismo modo que los enlaces de microondas debido a las frecuencias de operación.

En la Figura 4.6 se observa el espectro tomado en la azotea de un edificio direccionando un alimentador de una antena parabólica hacia una torre de telefonía celular.

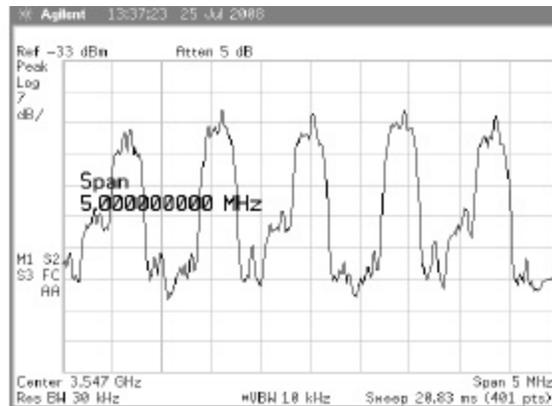


Figura 4.6. Interferencia por microonda WiMAX.

Las microondas radar es un sistema electrónico que permite detectar objetos fuera del alcance de la vista y determinar la distancia a que se encuentran proyectando sobre ellos ondas de radio. La palabra radar corresponde a las iniciales de "radio detection and ranging". Los usos que se le da al radar el control del tráfico aéreo, la detección de fenómenos meteorológicos y el seguimiento de aeronaves.

La Figura 4.7 muestra el espectro de interferencia por radar en un sistema de comunicación satelital.

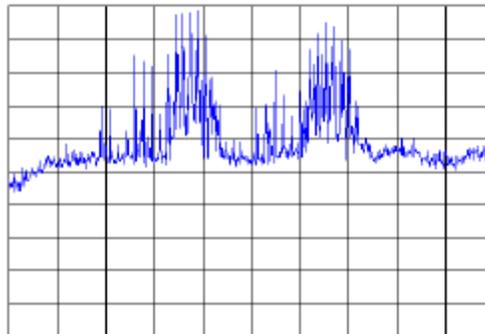


Figura 4.7 Interferencia por radar.

Interferencia por transmisiones no autorizadas

Este tipo de interferencia puede ser causada intencionalmente, al transmitir sobre un segmento satelital no contratado y sobre portadoras ya existentes en la misma frecuencia, de este modo afectando a las portadoras cercanas a esta portadora no autorizada, por encontrarse fuera de parámetros y sin autorización para el centro de control. Otra causa de este tipo de interferencia es la activación de equipo de transmisión satelital por accidente, mal operación y operación de equipo en mal funcionamiento o con desvío de frecuencia.

La interferencia por transmisiones no autorizadas son geolocalizadas por el centro de control, para situar la estación terrena afectante y en consecuencia se procede con sanciones perjudiciales, estipuladas en el reglamento de comunicación vía satélite.

Interferencia por radioaltímetros de aeronaves

Un radioaltímetro es un equipo de radionavegación instalado a bordo de una aeronave o de un vehículo espacial, que permite determinar la altura a que se encuentra la aeronave o el vehículo espacial sobre la superficie de la Tierra u otra superficie. Su funcionamiento está basado en una onda de radar que se emite hacia abajo y vuelve reflejada al instrumento, cuyo procesador mide el tiempo transcurrido y, por consiguiente, la distancia recorrida por la onda de radio (altura).

Dicha señal producida por el radioaltímetro interfiere en forma de barrido al final del segmento útil en banda C, asociada al paso de aeronaves en la línea de vista de las antenas hacia el satélite (interferencia local), como se ilustra en la Figura 4.8. Las intermitencias o microcortes de señal, tienen mayor ocurrencia en los servicios asignados a las antenas de mayor diámetro, debiéndose a la saturación de los LNA's al estar presente la señal emitida por los aviones.

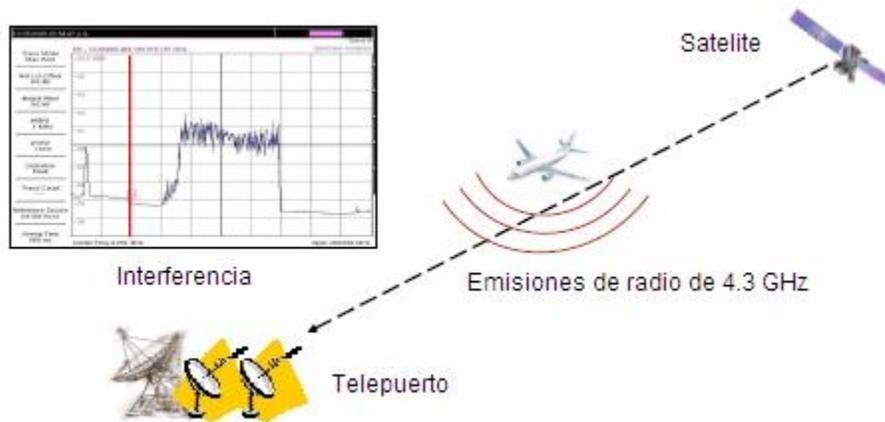


Figura 4.8. Interferencia por radioaltímetros.

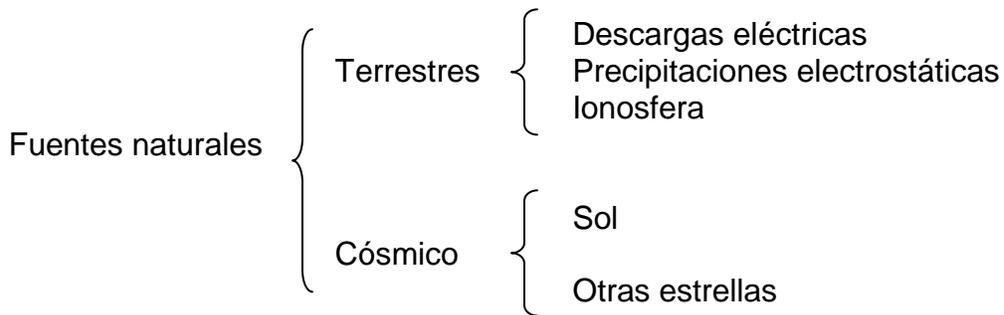
4.2 Ruido externo u oscilaciones interferentes

De una forma genérica por ruido se debe entender a toda aquella oscilación eléctrica que no forma parte de la señal útil y tiene la potencialidad de degradar la calidad de su recepción. Al ruido se le puede clasificar empleando varios parámetros: por el lugar de origen en interno y externo; por su ancho de banda, de banda angosta y de banda ancha; por su carácter temporal, en pulsante y continuo; por sus propiedades, en aleatorio y determinístico.

El ruido externo se genera fuera del sistema de comunicación y es independiente de su funcionamiento. Un gran número de actividades humanas y fenómenos de la naturaleza actúan como fuentes potenciales de oscilaciones interferentes. Por lo cual, estas se pueden aun subclasificar en fuentes naturales y fuentes artificiales o creadas por actividad humana.

Fuentes naturales

Las fuentes naturales de oscilaciones interferentes están relacionadas con fenómenos que incluyen cargas eléctricas estáticas en movimiento, campos magnéticos, etc., los cuales se pueden generar dentro o fuera de la atmosfera terrestre. Una clasificación de estas y las más importantes se dan en el siguiente cuadro sinóptico.



El ruido atmosférico se origina en perturbaciones eléctricas naturales que se generan dentro de la atmosfera terrestre. Al ruido atmosférico se le suele llamar electricidad estática, se oye con frecuencia en una bocina cuando no tiene señal. La fuente de la mayor parte de la electricidad estática se encuentra en las condiciones eléctricas naturales, como por ejemplo los rayos. A veces, la electricidad estática esta en forma de pulsos que dispersan energía dentro de una amplia gama de frecuencias. Sin embargo, la magnitud de esta energía es inversamente proporcional a su frecuencia. Por consiguiente, el ruido atmosférico es relativamente insignificante a frecuencias mayores de más o menos 30 MHz.

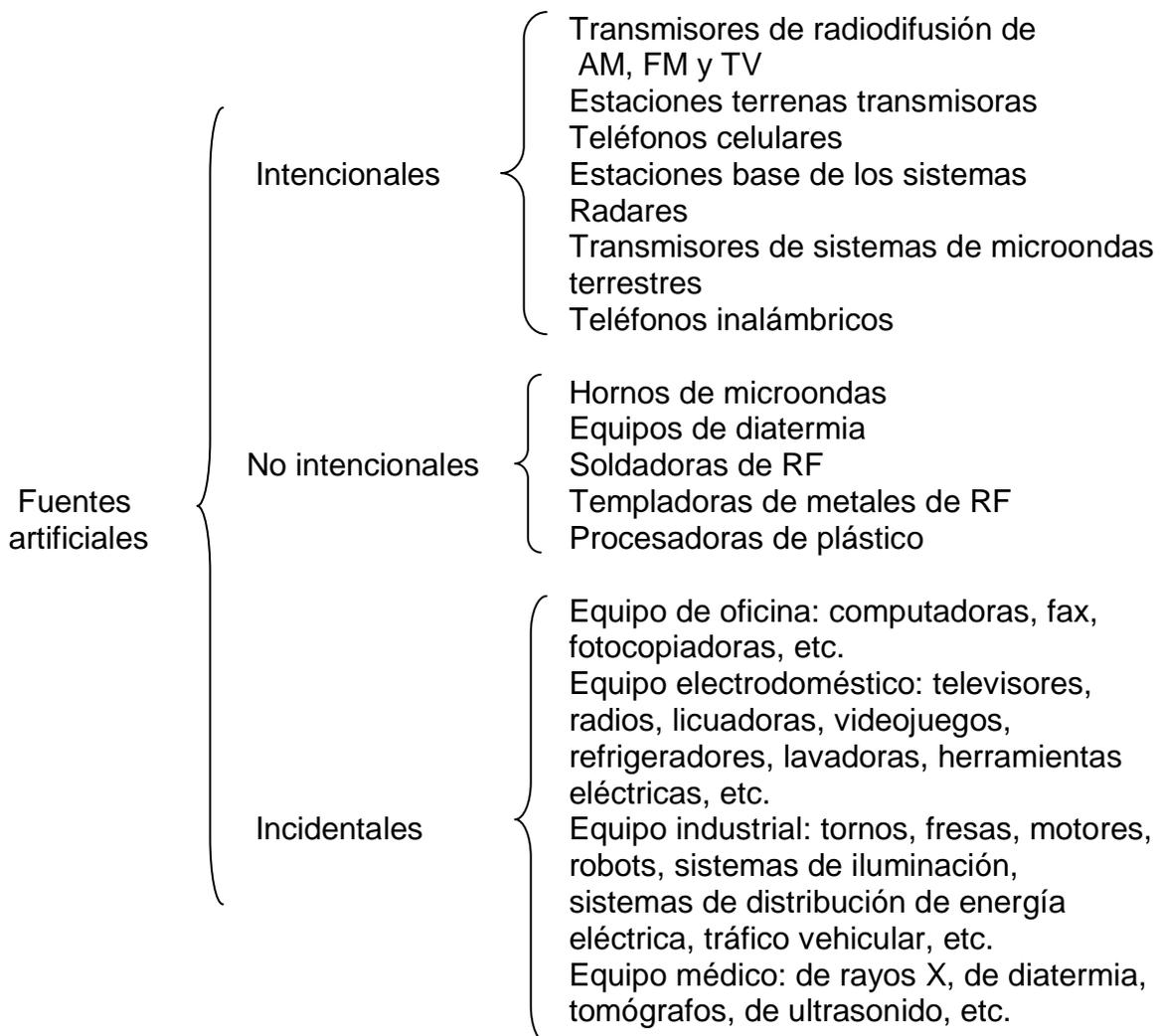
El ruido extraterrestre consiste en señales eléctricas que se originan fuera de la atmosfera de la Tierra y en consecuencia, a veces se le llama ruido de espacio profundo. El ruido extraterrestre se origina en la Vía láctea, en otras galaxias y en el Sol. También se subdivide en dos categorías: solar y cósmico.

El ruido solar lo genera en forma directa. Hay dos partes de este ruido: la producida por una condición de calma, cuando existe una intensidad relativamente constante de radiación y de gran intensidad, ocasionado por perturbaciones esporádicas debidas a manchas solares y a protuberancias solares. La magnitud del ruido esporádico causado por la actividad de manchas solares tiene una variación cíclica que se repite cada 11 años.

Las fuentes del ruido cósmico están distribuidas continuamente en las galaxias. Como las fuentes del ruido galáctico son muchas más lejanas que nuestro Sol, su intensidad de ruido es relativamente pequeña. Al ruido cósmico se le llama con frecuencia ruido de cuerpo negro, y se distribuye con bastante uniformidad por el cielo.

Fuentes artificiales

Las fuentes artificiales de ruido externo u oscilaciones interferentes están relacionadas con la actividad humana que involucra dispositivos, aparatos y sistemas que emplean energía eléctrica para su funcionamiento. Existen algunas fuentes que su función primordial es radiar energía electromagnética al espacio, a estas se les denomina fuentes intencionales de oscilaciones interferentes y dentro de este grupo entran todos los transmisores de cualquier sistema de radiocomunicación. Otras fuentes requieren generar energía electromagnética para realizar su función fundamental pero no radiarla, a estas fuentes se les denomina no intencionales y ejemplos de estas son los hornos de microondas, equipo de diatermia, etc. Un último grupo de fuentes no requieren generar energía electromagnética para realizar su función fundamental pero de manera incidental la emiten al espacio, a estas fuentes se les denomina incidentales y ejemplos de estas son: computadoras, teléfonos, fotocopiadoras, licuadoras, sistema de alumbrado, automóviles, etc. Una representación simplificada de las diferentes fuentes artificiales se da en el siguiente cuadro sinóptico.



Las fuentes principales del ruido causado por el hombre son los mecanismos que producen chispas, como por ejemplo los conmutadores de motores eléctricos, los sistemas de encendidos automotrices, el equipo generador y conmutador de energía eléctrica y las lámparas fluorescentes. El ruido producido por el hombre tiene naturaleza de pulsos y contiene una amplia gama de frecuencias, que se propagan por el espacio del mismo modo que las ondas de radio. Los transitorios resultantes de este tipo de ruido son muy grandes en amplitud y ricos en armónicas aleatorias. Este ruido es más intenso en las metrópolis más densamente pobladas y en aéreas industriales, por lo que a veces se le llama ruido industrial.

Oscilaciones interferentes de banda angosta

Por oscilación interferente de banda angosta se entiende a toda aquella oscilación interferente cuyo espectro frecuencial se encuentra comprendido en un ancho de banda angosto. Generalmente el ancho del espectro de este tipo de oscilación interferente es comparable o más angosto que el ancho de banda de la portadora útil. En un buen número de casos, las fuentes de estas oscilaciones interferentes son los radiotransmisores de otros sistemas de comunicación. Además de esto, es importante considerar que los transmisores pueden emitir un conjunto de oscilaciones parasitas que no forman parte de la energía electromagnética en diversos procesos industriales. Otra fuente importante de oscilaciones interferentes que no puede dejarse pasar por alto son los radiorreceptores, ya que estos pueden emitir a través de la antena una o varias oscilaciones que son generadas para realizarlos procesos de mezclaje.

Las oscilaciones interferentes de banda angosta se pueden clasificar en: cocanal, canal adyacente y fuera de banda. Las oscilaciones interferentes cocanal caen dentro del ancho de banda del filtro más angosto de frecuencia intermedia. Las oscilaciones interferentes de canal adyacente, caen dentro del ancho de banda del filtro de radio frecuencia pero fuera del ancho de banda del filtro más angosto de frecuencia intermedia. Las oscilaciones interferentes fuera de banda son aquellas que caen fuera de banda del filtro de radio frecuencia, en la Figura 4.9 se ilustran estos tres tipos de oscilaciones interferentes.

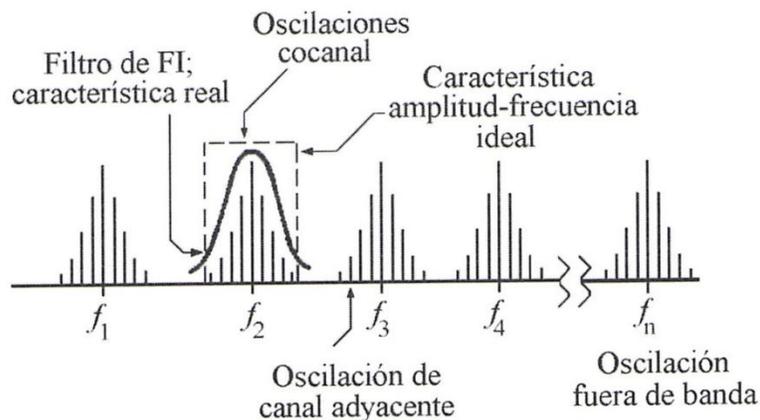


Figura 4.9. Tipos de oscilaciones interferentes.

Las condiciones de propagación de las oscilaciones interferentes de banda angosta y de las portadoras útiles son muy próximas, por esta razón las características estadísticas de estas oscilaciones interferentes son parecidas a las características de la portadora útil y dependen de la condición particular de propagación.

Oscilaciones interferentes pulsantes

Este tipo de oscilaciones interferentes tienen un carácter de una secuencia aperiódica de pulsos aislados, su característica particular es el ancho del espectro. El intervalo entre pulsos es tal que los procesos transitorios que se generan en el receptor debido a pulsos aislados no se traslapan. Las fuentes principales de estas oscilaciones interferentes son de carácter industrial y procesos atmosféricos. Los rayos son la fuente principal de las oscilaciones interferentes atmosféricas. La corriente generada cuando sucede una descarga eléctrica es aperiódica y oscilatoria con una constante de atenuación pequeña de duración típica en el intervalo de 0.1 a 3 ms.

Existen manuales con datos de propagación y niveles de oscilaciones interferentes atmosféricas para todo el globo terráqueo para las cuatro estaciones del año y para intervalos de tiempo dentro de periodos de 24 horas. A frecuencias superiores de los 20 MHz las oscilaciones interferentes tienen un carácter cercano al aleatorio, y a frecuencias menores a los 20 MHz tienen un carácter muy parecido al pulsante. Las oscilaciones interferentes atmosféricas son más notorias para trayectorias cortas. En los meses de verano, el nivel medio de las oscilaciones interferentes atmosféricas puede ser próximo al nivel de las oscilaciones generadas por transmisores interferentes cercanos. Bajo la acción de oscilaciones interferentes pulsantes, en el radioreceptor surgen procesos transitorios. La oscilación interferente se puede considerar como un pulso, como se ilustra en la Figura 4.10 y al radioreceptor como un circuito resonante, que en su salida debido a la acción de la acción interferente aparecen pulsos de alta frecuencia. Si los procesos transitorios en la salida del receptor, debido a la incidencia de pulsos interferentes, se traslapan, entonces la oscilación interferente ya no puede considerarse como pulsante.

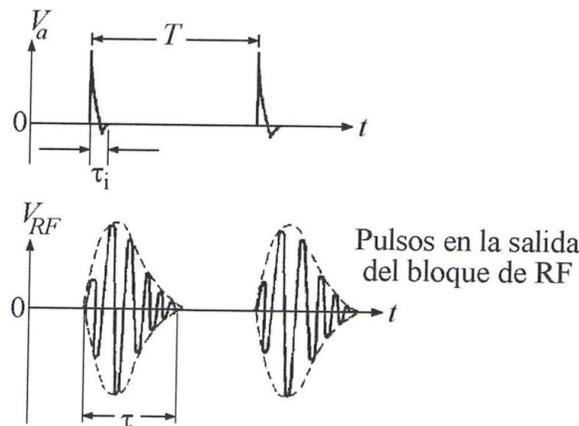


Figura 4.10. Oscilación interferente de tipo pulsante y pulsos de radio frecuencia en la salida del receptor.

Oscilaciones interferentes de tipo aleatorio

Este tipo de oscilaciones siempre está presente en los radiorreceptores en forma de ruido térmico, ruido de disparo y otros generados en los dispositivos electrónicos.

El voltaje resultante de oscilaciones interferentes de cualquier tipo provenientes de diferentes fuentes, frecuentemente, también tiene un carácter aleatorio. Así, la oscilación interferente resultante al incidir muchos pulsos interferentes es una oscilación aleatoria. El carácter aleatorio también puede aparecer como resultado de la operación simultánea de muchos radiotransmisores que radian oscilaciones interferentes de banda angosta. Algunos sistemas industriales pueden ser fuentes de oscilaciones interferentes con carácter aleatorio. Ruidos cósmicos y también muchos tipos de ruidos atmosféricos tienen un carácter aleatorio.

Por oscilación interferente aleatoria frecuentemente se entiende un proceso aleatorio continuo en el tiempo con distribución normal de los valores instantáneos y con valor medio igual a cero. En muchos casos, una oscilación interferente aleatoria normal tiene un espectro uniforme en un intervalo amplio de frecuencias. Este tipo de oscilación interferente se denomina ruido blanco. Sin embargo, la mayoría de los circuitos que se emplean en radiocomunicación son de banda angosta y su forma está determinada por la característica frecuencial del sistema. En este caso, a la oscilación interferente aleatoria se le puede representar en forma de una oscilación senoidal, cuya amplitud y fase varían lentamente de manera aleatoria y con frecuencia igual a la frecuencia de resonancia del filtro más angosto en el canal de radio frecuencia de resonancia del filtro más angosto del bloque de frecuencia intermedia.

4.3 Ruido interno o propio

Todo equipo terminal de los sistemas de comunicación vía satélite emplea conductores, resistores y transistores, los cuales generan oscilaciones aleatorias, y estas dependen de la física del funcionamiento de los dispositivos. Como en lo fundamental el ruido propio tiene fuerte impacto en la recepción de la señal. Entre los principales tipos de ruido están: térmico, de disparo, de baja frecuencia y de alta frecuencia.

Ruido térmico

La mayor parte del ruido interno es causado por el fenómeno llamado agitación térmica, que es el movimiento caótico de los electrones libres de un conductor, provocado por el calor. Al aumentar la temperatura, este movimiento atómico aumenta. Como los componentes son conductores, el movimiento de los electrones constituye un flujo de corriente que provoca un pequeño voltaje a través de ese componente. Los electrones que atraviesan un conductor como flujos de corriente, experimentan impedimentos pasajeros en su trayectoria mientras encuentran a los átomos agitados de manera térmica. La resistencia aparente del

conductor fluctúa y así causa el voltaje aleatorio producido térmicamente que se llama ruido.

En la actualidad se puede observar este ruido con solo conectar un resistor de alto valor a un osciloscopio de ganancia muy alta. El movimiento de los electrones debido a la temperatura ambiente, produce un voltaje a través del resistor. La variación del voltaje es caótica por completo y a muy bajo nivel. El ruido que se desarrolla a través de un resistor es proporcional a la temperatura a que está expuesto.

La agitación térmica por lo común se denomina ruido blanco o ruido Johnson, en honor a J. B. Johnson, quien lo descubrió en 1928. Así como la luz blanca tiene todas las otras frecuencias de luz, el ruido blanco incluye todas las frecuencias que ocurren al azar en amplitudes aleatorias. Por lo tanto, una señal de ruido blanco ocupa en teoría, al menos un ancho de banda infinito.

En un resistor más o menos grande a temperatura ambiente o mayor, el voltaje de ruido a través de él puede ser tan grande como algunos microvolts. Este es el mismo orden de magnitud o mayor que muchas señales débiles de RF. Las señales de amplitud más débiles serán borradas en su totalidad por este ruido.

Dado que el ruido es una señal de banda muy ancha con un intervalo de frecuencias aleatorias, su nivel se puede reducir si se limita el ancho de banda. Si una señal de ruido se alimenta en un circuito sintonizado selectivo, se rechazan muchas de las frecuencias del ruido y baja el nivel general de este. La potencia del ruido es proporcional al ancho de banda de cualquier circuito al que se aplica. Los filtros pueden reducir el nivel de ruido, pero no lo eliminan por completo. También el ruido es predecible, aditivo y está presente en todos los dispositivos. Por lo anterior, el ruido térmico es el más importante de todos los ruidos.

Ruido de disparo

Este ruido se debe a la llegada aleatoria de portadoras (agujeros y electrones) al elemento de salida de un dispositivo electrónico, como por ejemplo un diodo, un transistor de efecto de campo o un transistor bipolar. El ruido de disparo se observó por primera vez en la corriente anódica de un amplificador de tubo al vacío, y W. Schottky lo describió matemáticamente en 1918. Los portadores de corriente (tanto para CA como CD) no se mueven en un flujo continuo y estable, porque la distancia que recorren varía debido a sus trayectorias aleatorias. El ruido de disparo varía en forma aleatoria y se superpone a cualquier señal que haya. Cuando se amplifica, este ruido se oye como balines de metal que caen en un techo de lámina. A veces, al ruido de disparo se le llama ruido de transistor y se suma al ruido térmico.

Componentes electrónicos como diodos y transistores son contribuyentes mayores de ruido. Además del ruido térmico, los semiconductores producen ruido aleatorio, ruido de tránsito y ruido de parpadeo. El ruido de disparo también es ruido blanco,

ya que tiene todas las frecuencias y amplitudes dentro de un intervalo extenso. La amplitud de los voltajes del ruido es impredecible, pero sigue una curva de distribución Gaussiana, que es un trazo de la probabilidad que ocurran amplitudes específicas. La cantidad de ruido de disparo es directamente proporcional a la cantidad de polarización de corriente directa que fluye por el dispositivo.

Ruido de baja frecuencia

En los semiconductores este ruido es generado en las imperfecciones y dislocaciones de la estructura cristalina, estas se comportan como fuentes o atrapadores de portadoras de carga. Experimentalmente se ha encontrado que, de manera aproximada, el nivel de ruido es inversamente proporcional con la frecuencia, esto es, crece conforme disminuye la frecuencia.

Este ruido en radiocomunicación, tienen una influencia muy importante en los osciladores y en los mezcladores, ya que por procesos no lineales, este ruido de baja frecuencia se traslada alrededor de la frecuencia de la portadora o frecuencia intermedia.

Ruido de alta frecuencia

Este ruido está asociado con el tiempo de transito de los portadores al viajar de la terminal de entrada a la de salida. Debido a la energía cinética de origen térmico y a otros procesos que tienen lugar en el transistor, el tiempo que emplean los portadores de carga desde el puerto de entrada al de salida no es igual para todos los portadores. Si se observa el número de portadores que atraviesan el dispositivo en intervalos de tiempo conmensurables con el tiempo de transito, este varía de manera aleatoria alrededor de un valor medio, a estas variaciones del número de electrones por unidad de tiempo se les denomina ruido de alta frecuencia, y tiene importancia cuando el periodo de la señal que está procesado el dispositivo es conmensurable con el tiempo de transito de los portadores.

Una representación grafica del nivel de ruido como función de la frecuencia en el cual intervienen estas fuentes se ilustra en la Figura 4.11.

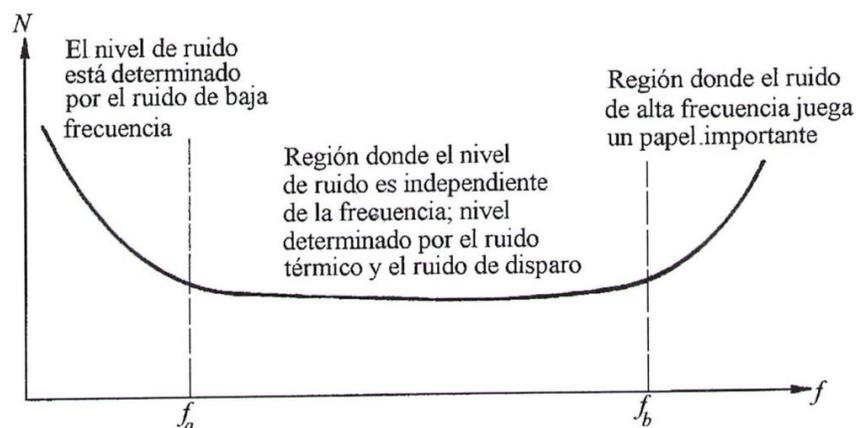


Figura 4.11. Ruido en un transistor con respecto a la frecuencia.

Ruido en la región de microondas

El ruido es una consideración importante en todas las frecuencias de las comunicaciones, pero en especial es importante en la región de microondas porque el ruido aumenta con el ancho de banda e impacta las señales de alta frecuencia más que las de baja frecuencia. El factor limitante en la mayoría de los sistemas de comunicación por microondas, como satélites y radar es el ruido interno. En algunos receptores de microondas especiales, el nivel de ruido se reduce enfriando las etapas de entrada al receptor. Esta técnica se llama operación en condiciones criogénicas.

4.4 Factor de ruido

El factor de ruido es un factor de calidad que permite comparar circuitos, amplificadores y receptores desde un punto de vista de ruido y va a indicar en qué media se degrada la señal a ruido cuando la señal pasa por el circuito o receptor.

Suponga que el receptor de un sistema de radiocomunicación se representa por una caja negra y la antena receptora por una fuente de voltaje V_s junto con su resistencia interna R_s , como se ilustra en la Figura 4.12.

La resistencia interna de toda fuente de señal es óhmica y por lo tanto genera ruido térmico, y así se puede afirmar que las antenas como cualquier otro dispositivo de entrada genera ruido y tienen asociada y tienen asociada una relación señal a ruido. Entre menor sea el ruido más pequeño será el nivel de la señal para satisfacer una determinada cantidad de recepción.

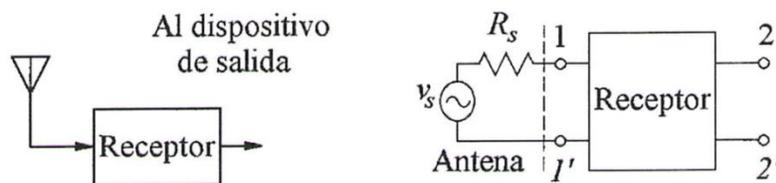


Figura 4.12. Representación de un receptor y su fuente de señal.

Ahora si se supone que el receptor es ideal o sea que no introduce ruido, al pasar la señal por este, la relación señal a ruido que se tiene a la entrada (la de la antena) no se degrada y es la misma en el puerto 2-2'. Cuando el receptor no es ideal, esto es cuando introduce una cierta cantidad de ruido, la relación señal a ruido en la salida del receptor es menor comparada con la relación señal a ruido de la antena, o sea esta degrada al pasar por el receptor. Entre mayor sea la cantidad de ruido que anexa el receptor, mas se degrada la relación señal a ruido.

Una medida para saber que tanto se degrada la relación señal a ruido es una razón de las relaciones señal a ruido de la entrada y en la salida

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_e}{\left(\frac{S}{N}\right)_s}$$

Donde $\left(\frac{S}{N}\right)_e$ es la relación señal a ruido de la fuente de señal, y $\left(\frac{S}{N}\right)_s$ es la relación señal a ruido en el puerto de salida del receptor.

A esta relación se le denomina factor de ruido y por lo tanto, este es una medida para saber en que tanto se degrada la relación señal a ruido cuando pasa la señal por el circuito o receptor.

Si el receptor fuese ideal, el factor de ruido sería igual a la unidad y cuando este introduce ruido, F es mayor que la unidad. Esto permite concluir que entre más próximo sea el factor de ruido a la unidad, el receptor introduce menor cantidad de ruido.

La sensibilidad (o capacidad de recibir señales pequeñas de un receptor) está evaluada por la relación señal a ruido, entre menos es el factor de ruido, menos se degrada la relación señal a ruido y más pequeño será el nivel de señal para satisfacer una determinada calidad y se dice que el receptor es más sensible.

Manipulando la ecuación anterior se obtiene:

$$F = \frac{\frac{S_e}{N_e}}{\frac{GS_e}{N_s}} = \frac{N_s}{GN_e}$$

donde G es la ganancia de potencia de circuito.

La ecuación anterior indica que el factor de ruido es igual a la razón del ruido total en el puerto de salida, al ruido térmico en la salida generado únicamente por la resistencia interna de la fuente de señal. También se encuentra que el ruido total en la salida (N_s) dividido entre la ganancia de potencia de circuito (G) es el ruido total en el puerto de entrada (N_{Te}), manipulando la ecuación anterior se obtiene:

$$F = \frac{N_{Te}}{N_e}$$

La ecuación anterior permite dar otra definición equivalente del factor de ruido. El factor de ruido es la relación del ruido total visto en el puerto de entrada (N_{Te}) al ruido térmico en la entrada generado por la resistencia interna de la fuente de señal.

En las dos ecuaciones anteriores, el factor de ruido no incluye a la señal, y se puede afirmar que el factor de ruido no se puede emplear para evaluar la sensibilidad del receptor y solo nos sirve para indicar que tanto ruido introduce. El ruido total en la entrada es igual al ruido generado en el receptor visto en la

entrada (N_{re}) mas el ruido térmico generado por la resistencia interna de la fuente de señal, de tal manera que F se puede describir como:

$$F = \frac{N_{re} + N_e}{N_e} = \frac{N_{re} + 4kTR_s\Delta F}{4kTR_s\Delta F}$$

La ecuación anterior muestra que si se incrementa la temperatura, el factor de ruido tiende a la unidad. Este resultado se explica considerando que conforme crece la temperatura aumenta el ruido térmico de la resistencia de la fuente de señal, y la contribución del ruido del receptor al ruido total disminuye.

En los sistemas de microondas tanto terrestres como vía satélite existe una forma analógica para indicar que tanto ruido introduce un circuito, o comparar circuitos desde un punto de vista de ruido, y es a través del concepto de temperatura de ruido, empleado en el cálculo de enlace del capítulo II.

Temperatura de ruido

La mayor parte del ruido que se produce en un dispositivo es ruido térmico, el cual es directamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto, otra forma de expresar el ruido en un receptor es en temperatura de ruido (T_N). La temperatura de ruido se expresa en Kelvin, y es una temperatura ficticia a la cual debería de estar la resistencia interna de la fuente de señal para que esta generase un ruido igual al que introduce el circuito físico.

$$T_N = (F - 1)T$$

donde T es la temperatura física a la cual se encuentra la resistencia interna de la fuente de señal en °K.

Si la relación de ruido es mayor que 1, se producirá una temperatura equivalente de ruido, que es la temperatura de la resistencia interna que tendría que elevarse para generar el mismo voltaje de ruido que produce el circuito.

Todo el análisis anterior nos muestra que si se parte de una señal de amplitud relativamente grande y se disminuye esta, la amplitud de la señal de salida del circuito se reduce proporcionalmente, pero llega un punto en el cual aunque se reduzca tanto como se quiera la amplitud de la señal de entrada, en la salida se tendrá una oscilación cuya amplitud no cambia, esta es el ruido propio y se determina en el límite inferior de la amplitud de la señal para la cual el receptor funciona adecuadamente. Al intervalo de amplitudes para la cual el receptor funciona tal que se obtiene la cantidad adecuada (para la cual fue diseñado) se denomina intervalo dinámico y su límite inferior está determinado por el ruido propio, una representación grafica de este límite se ilustra en la Figura 4.13.

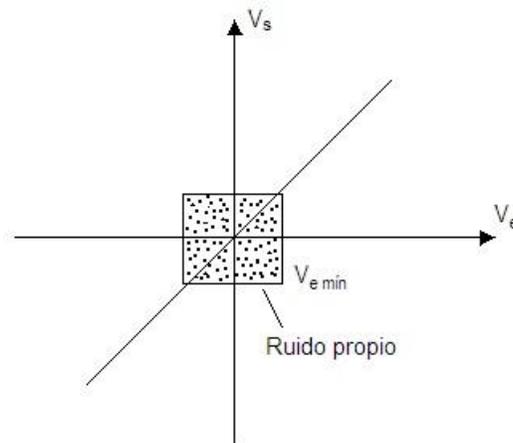


Figura 4.13. Límite inferior de intervalo dinámico de un receptor.

Distorsiones no lineales: factores que determinan el límite superior del intervalo dinámico de receptores

Todo receptor de cualquier sistema de comunicación contiene cuando menos un bloque activo construido por transistores. Todo transistor es un elemento eminentemente no lineal.

En los sistemas de radiocomunicación por ejemplo un receptor es característico: las propiedades de propagación que son altamente dependientes de las condiciones ambientales, la portadora puede experimentar desvanecimientos profundos por propagación con trayectorias múltiples, en la mayoría de los casos la distancia entre el transmisor y el receptor no es conocida o varía, alta susceptibilidad a oscilaciones interferentes, el nivel de la portadora en la entrada del receptor puede variar más de 100 dB, el nivel de las oscilaciones interferentes también puede variar más de 100 dB. Estas características implican que la amplitud de la portadora en la entrada del receptor puede ser tan pequeña como fracciones de μV o ser tan grande como fracciones de V , la amplitud de las oscilaciones interferentes en la entrada del receptor pueden ser tan grandes como fracciones de V , la amplitud de la portadora puede ser muy pequeña y la amplitud de las oscilaciones interferentes de fracciones de V , en la entrada del receptor la portadora siempre está acompañada por una multitud de oscilaciones interferentes. Los amplificadores que contiene el receptor no se pueden tratar como circuitos lineales porque se pierde la posibilidad de describir todo un conjunto de procesos (de carácter no lineal) que degradan significativamente la recepción de la señal.

La distorsión no lineal tiene diferentes manifestaciones: a) Aparición de una componente de DC generada por las no linealidades par. b) Surgimiento de componentes cuya frecuencia es un múltiplo entero de las frecuencias de entrada. A estas componentes se les denomina armónicas. c) Aparición de componentes cuya frecuencia es una combinación lineal de la frecuencia de entrada. A estas se les denomina productos de intermodulación. d) El término no lineal de orden impar

genera componentes cuyas frecuencias son idénticas a las frecuencias de entrada.

4.5 Filtros para los sistemas de comunicación

Una característica particular de operación de todos los radiorreceptores consiste en que el campo electromagnético incidente en la antena (dispositivo de entrada), además de contener la portadora útil, está compuesto de un inmenso número de otras oscilaciones electromagnéticas provenientes de diferentes fuentes; es necesario que el receptor o el sistema de recepción tenga la capacidad de separar la portadora útil de todas las otras oscilaciones. Uno de los métodos más eficientes de separar oscilaciones es empleado su frecuencia, lo cual se realiza usando filtros selectivos. Otros tipos de selectividad que se emplean en los sistemas de radiocomunicación son: de polarización, espacial, temporal y estadística. En función de la aplicación, modulación, tipo de señal de banda base y frecuencia de la portadora, algunos sistemas pueden emplear una o varios tipos de selectividad. La selectividad frecuencial es la que permite mayores grados de separación de señales y es la que se emplea en todos los radiorreceptores.

Cuando la portadora útil consiste de diferentes mensajes provenientes de varias fuentes de información y la transmisión simultánea se realiza con base en multiplexaje por división de frecuencia, también se usan filtros selectivos para separar los mensajes. Entre los diferentes filtros existentes, están los de: resistencia-capacitancia, activos, cerámicos, de onda acústica superficial, de cristal de cuarzo, inductancia-capacitancia, helicoidales, etc.

Los filtros compuestos de inductancias y capacitancias así como sus equivalentes de microcintas, helicoidales y de cavidad resonante son los más ampliamente usados en la etapa de entrada de los radiorreceptores.

Filtros resonantes L-C

Las formas básicas de los filtros resonantes L-C son circuitos resonantes serie y circuitos resonantes paralelo. Los elementos esenciales de estos filtros son los inductores y capacitores.

Los inductores son elementos que idealmente, solo deben almacenar energía en un campo magnético. Un inductor real se aleja de este comportamiento puesto que es construido con un conductor eléctrico, y todo conductor a temperatura arriba del cero absoluto presenta una resistencia finita diferente de cero, la cual crece conforme se aumenta la frecuencia de operación a causa del efecto superficial. Esto quiere decir que un inductor real además de tener la propiedad de almacenar energía en un campo magnético, también tienen la capacidad de transformar energía eléctrica en calor.

Un inductor, a causa de que entre las espiras o entre sus terminales se presenta una caída de voltaje cuando por este circula una corriente, también almacenara energía en un campo eléctrico. Esto indica que para todo inductor habrá un intervalo de frecuencias de operación, en el cual se comporte en buena medida como inductor, y que si la frecuencia de operación es más grande que un límite superior dado, se comportará como un capacitor en lugar de un inductor.

Los capacitores son elementos cuya función es almacenar energía en un campo eléctrico. Un capacitor físico se aleja de este comportamiento, ya que el dieléctrico entre las placas tiene pérdidas, además las terminales y las placas del capacitor tienen cierta inductancia, por lo tanto un capacitor físico no solo tiene capacidad de almacenar energía en un campo magnético y transforma energía eléctrica en calor. La presencia de la inductancia parasita determina la máxima frecuencia de operación de los condensadores. En este caso el factor de calidad es la relación entre la energía almacenada en el campo eléctrico a la energía disipada en calor.

Si se eligen adecuadamente los capacitores que forman parte de los filtros L-C, el factor de calidad de los capacitores es mayor que el factor de calidad de los inductores, y para muchas aplicaciones se tiene buena aproximación si solo se consideran las pérdidas en los inductores que forman los circuitos resonantes. El ancho de banda de los filtros construidos con circuitos resonantes tiene una relación directa con el factor de calidad.

Este tipo de circuitos es ampliamente empleado en la radiocomunicación ya que con ellos fácilmente se construyen amplificadores selectivos. En los intervalos de LF, MF, HF, VHF los inductores y capacitores son elementos discretos en frecuencias de UHF y microondas, los inductores, capacitores e inclusive los circuitos resonantes serie y paralelo se simulan con secciones de líneas de transmisión en corto circuito o circuito abierto.

Filtros de cristal de cuarzo

Los filtros L-C tienen una serie de ventajas y limitaciones las cuales determinan sus áreas de aplicación. Algunas de las limitaciones se superan al emplear otro tipo de filtros, por ejemplo: en baja frecuencia, los filtros activos tienen ventajas, filtros a base de cuarzo, cerámicos o de onda acústica superficial tienen selectividad muchos mayores en cuanto al factor de calidad. Los filtros de cristal de cuarzo emplean uno o varios cristales de cuarzo como elementos selectores de frecuencia. El principio de funcionamiento de estos filtros se basa en el efecto piezoeléctrico.

El efecto piezoeléctrico consiste en el hecho de que cuando a una estructura cristalina en un determinado eje se le aplican oscilaciones eléctricas, aparecen en otro eje vibraciones mecánicas, cuya amplitud es proporcional a la magnitud de voltaje aplicado. La estructura cristalina del cuarzo tiene la forma mostrada en la Figura 4.14.

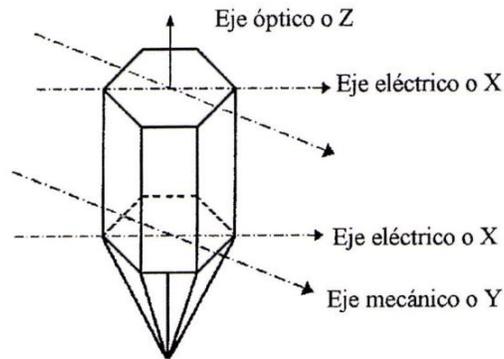


Figura 4.14. Estructura cristalina del cuarzo con sus ejes óptico, mecánico y eléctrico.

Si al cristal se aplican oscilaciones eléctricas a lo largo del eje eléctrico aparecerán vibraciones mecánicas a lo largo del eje mecánico aparecen oscilaciones eléctricas a lo largo del eje eléctrico, la transferencia de energía tiene lugar con pérdidas pequeñas.

Un resonador de cristal de cuarzo es una oblea de cuarzo con dos electrodos una de cada lado. Tiene un circuito equivalente complejo ya que presenta un conjunto de frecuencias de resonancia serie secundarias.

Filtros de microcinta

Como ya se trató anteriormente, conforme crece la frecuencia de operación es difícil o imposible construir los filtros con elementos discretos, y es necesario simular las inductancias y capacitancias con líneas de transmisión.

Todo radiorreceptor después de la antena contienen un filtro pasa banda para separar total o parcialmente la portadora de un conjunto de oscilaciones interferentes. La frecuencia central del filtro es idéntica a la frecuencia de la portadora. También todo radiotransmisor como dispositivo de salida antes de la antena transmisora contiene un filtro pasa banda para evitar emisiones espurias fuera de la banda que emplea la portadora modulada, este filtro tiene su frecuencia central igual a la portadora sin modulación. Ya que la frecuencia de la portadora puede estar en el intervalo de 30 KHz a 300GHz, buen número de sistemas de radiocomunicación tienen frecuencias mayores que la parte superior de la banda UHF y los filtros de RF ya no se construyen con elementos discretos sino con líneas de transmisión, con cavidades resonantes o una transición entre filtros de cavidad resonante y elementos discretos (filtros helicoidales). Entre las diferentes líneas de transmisión, las de cinta y de microcinta tienen una aplicación generalizada en el desarrollo de filtros para receptores y transmisores. Las principales ventajas de la fabricación de filtros (y de otros elementos pasivos de microondas y milimétricas) con microcintas y cintas (líneas planas de transmisión) son: facilidad de fabricación, bajo costo, alta estabilidad, compatibilidad con elementos activos y pasivos así con construcción híbrida y monolítica. Las principales limitantes están relacionadas con pérdidas relativamente grande, lo

que está acompañado de la reducción del factor de calidad conforme crece la frecuencia; su aplicación fundamental es para pequeños niveles de potencia y el aislamiento entre circuitos en un mismo sustrato es pobre.

Una línea de transmisión de microcinta está formada por una cinta conductora paralela a un plano de tierra como se ilustra en la Figura 4.15.

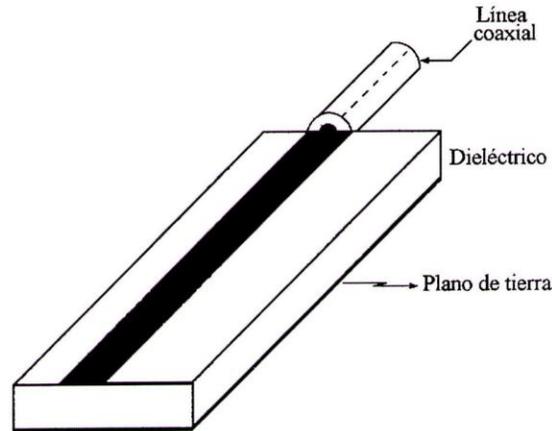


Figura 4.15. Construcción de una microcinta.

El sustrato o dieléctrico entre la cinta y el plano de tierra puede ser duro o flexible. Como parte del campo eléctrico pasa a través del aire, la constante dieléctrica efectiva, es menor que la constante dieléctrica relativa del material.

Como sucede para toda otra configuración de líneas de transmisión, las de microcinta tiene un circuito equivalente con parámetros concentrados correspondiente a un filtro pasa bajas.

Las secciones de líneas de microcinta pueden estar acopladas capacitivamente para formar los filtros, un ejemplo de este tipo de acoplamiento es el construir un filtro pasa banda, como se ilustra en la Figura 4.16 muchos de estos con aplicación en elementos de comunicación satelital.

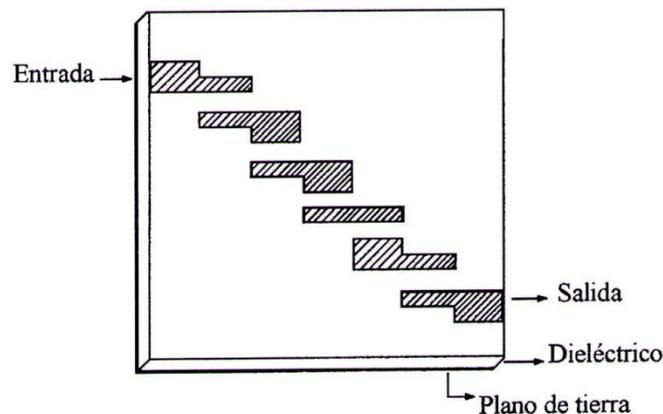


Figura 4.16. Filtro con secciones de microcinta.

Filtros de cavidad resonante

Los filtros de secciones de microcinta tienen un factor de calidad relativamente pequeños y esta característica se hace más acentuada conforme crece la frecuencia de operación. Una cavidad resonante puede considerarse como un volumen encerrado por una superficie conductora y dentro del cual se puede excitar un campo electromagnético. Energías eléctricas y electromagnéticas con almacenadas en la cavidad, la conductividad finita de la superficie conductora que delimita la cavidad presenta cierta pérdida de potencia y de esta manera el circuito equivalente presentara una cierta resistencia efectiva y el factor de calidad del circuito será finito. Los campos pueden ser excitados o acoplados a un circuito externo por medio de sondas eléctricas, magnéticas o por aberturas.

Si la cavidad resonante se excita a través de una guía de onda, el acoplamiento se hace por medio de una abertura. La penetración del campo de la guía de onda a la cavidad y viceversa es a cuenta del fenómeno de difracción. La frecuencia de resonancia depende de las dimensiones de la cavidad resonante.

Para incrementar la selectividad y manipular el ancho de banda del filtro se pueden unir dos o más cavidades resonantes.

Por ejemplo en la Figura 4.17 se ilustra un filtro pasa banda que consiste de tres cavidades resonantes. El acoplamiento con los circuitos de entrada y salida es por medio de guía de onda y entre las cavidades resonantes se realiza por medio de aberturas. Para sintonizar a los resonadores se emplean los tornillos *B*. La profundidad de penetración de los tornillos influye en la capacitancia entre paredes y así determinar la frecuencia de resonancia. La forma de la cavidad resonante puede ser cuadrada o cilíndrica.

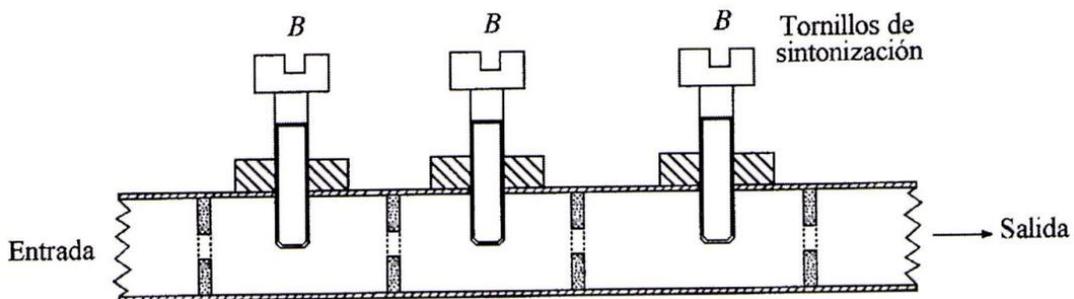


Figura 4.17. Filtro pasa banda constituido por tres cavidades resonantes.

Este tipo de filtros pasa banda son empleados en los enlaces de tipo satelital, para evitar interferencias terrestres y el espectro antes y después del filtro se ilustra en la Figura 4.18.

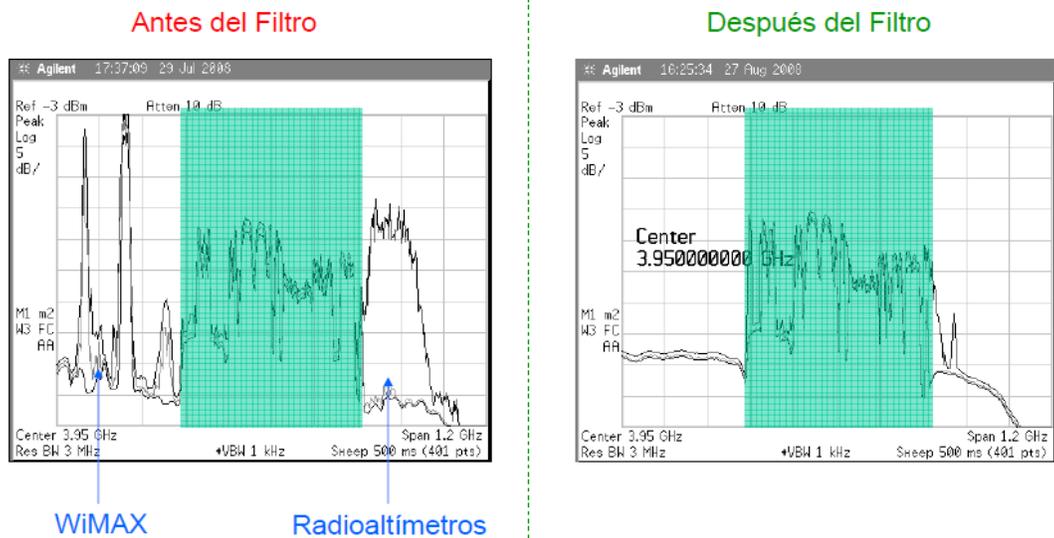


Figura 4.18. Espectro con interferencia eliminada con filtro pasa banda.

Filtros de onda acústica superficial

Los filtros de onda acústica superficial (SAW) así como otros dispositivos que operan bajo el mismo principio, se basan en la aparición de ondas mecánicas (acústicas) en lugar de ondas electromagnéticas, como tiene lugar en los filtros L-C, de cavidad resonante, de microcintas, etc. Como en el caso de los filtros de cristal de cuarzo, en los filtros SAW se requiere de un material piezoeléctrico para convertir la energía electromagnética de entrada en energía mecánica y viceversa.

De una forma simplificada, los filtros SAW más básicos consisten de dos transductores con un arreglo interdigital de electrodos metálicos depositados sobre un sustrato piezoeléctrico altamente pulido, tal como se ilustra en la Figura 4.19.

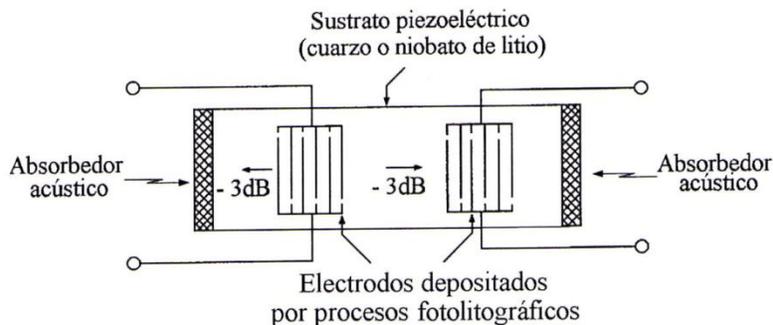


Figura 4.19. Configuración simple de un filtro SAW.

Los electrodos que conforman los arreglos alternan la polaridad tal que un voltaje de RF de frecuencia apropiada aplicado a través de ellos genera que la superficie del cristal se expanda y contraiga, lo cual provoca la aparición de ondas de superficie u ondas Rayleigh. Puesto que la velocidad de la onda acústica o superficial es de 10^5 veces menos que la velocidad de la luz, su longitud de onda es 10^5 veces más corta que la longitud de la onda electromagnética de la misma frecuencia. Lo anterior permite que los filtros SAW sean de dimensiones

pequeñas, pero también impone un límite superior de la frecuencia de operación asociado con los electrodos cuando se vuelven muy delgados para su fabricación fotolitográfica. El límite inferior de la frecuencia de operación también está asociado con el tamaño de los electrodos, si el dispositivo se hace grande se vuelve impráctico.

De forma simplificada el transductor SAW es un radiador bidireccional, esto significa que la mitad de la potencia se dirige hacia el transductor de salida y la otra mitad restante hacia el otro extremo del sustrato y se pierde. Por cuestiones de reciprocidad solo la mitad de la energía acústica interceptada por el transductor es convertida en energía eléctrica, esto implica que estos dispositivos tengan asociadas pérdidas. Para reducir las pérdidas es indispensable modificar la construcción de los radiadores tal que incluyan reflectores acústicos en la estructura interdigital para que redireccionen la energía acústica que normalmente se pierde en la estructura convencional. Estos filtros también se pueden diseñar especialmente en función de su aplicación, por ejemplo para aplicaciones en sistemas de banda dispersa, televisión de alta definición y redes locales inalámbricas.

Filtros helicoidales

Una de las grandes bondades de los filtros L-C es que introducen pequeñas pérdidas de inserción pero tienen selectividades relativamente pequeñas por el bajo valor del factor de calidad de los inductores. Conforme crece la frecuencia, la construcción y ajuste de los inductores se vuelve compleja y se puede recurrir a los filtros de secciones de líneas de transmisión o filtros de cavidad resonante. Existe un intervalo de frecuencias donde los filtros de líneas de transmisión no resultan prácticos por su tamaño. Filtros que permiten cubrir dicha zona de transmisión entre filtros resonantes de parámetros concentrados y los de parámetros distribuidos, y que posibilitan tener grandes valores de selectividad, así como conservar pequeñas pérdidas de inserción son los filtros helicoidales. Por lo cual son de gran importancia para desarrollar los filtros de RF de entrada de los radorreceptores y filtros de salida de los transmisores. De una manera simplificada un resonador helicoidal se puede ver como un inductor dentro de una cavidad resonante o como una helicoide de línea de transmisión cortocircuitada en uno de sus extremos. Una representación de un filtro helicoidal se ilustra en la Figura 4.20.

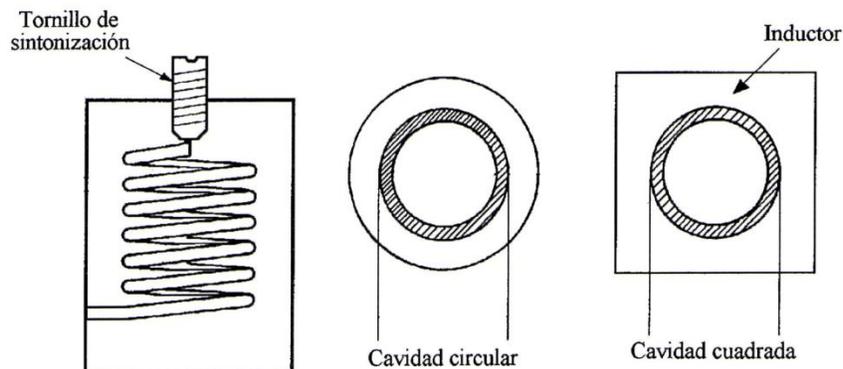


Figura 4.20. Configuración de un filtro helicoidal.

Para incrementar la selectividad de los filtros helicoidales se pueden emplear más de un resonador helicoidal y para cambiar la frecuencia se puede introducir un capacitor, aunque la presencia de este tiende a disminuir el factor de calidad, por lo cual se suele evitar su empleo. Los filtros helicoidales también se pueden sintonizar electrónicamente, lo que se requiere es sustituir a los capacitores variables por diodos de capacidad variable.

CAPITULO V

INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE TRANSMISIÓN VÍA SATÉLITE

5.1 Ambiente radioeléctrico y línea de vista

Las frecuencias designadas para el enlace ascendente y descendente de las bandas C y Ku ocupan un ancho de banda entre los límites superior e inferior que es de 500 MHz, esto significa un ancho de banda increíble, capaz de llevar un número enorme de señales, de hecho 500 MHz cubren todo el espectro de radio tan bien conocido desde VLF hasta VHF y mas allá. La mayor parte de los satélites de comunicaciones están diseñados para tomar ventaja de este ancho de banda completo. Esto les permite llevar el máximo número posible de canales de comunicaciones.

Este ancho de banda bastante amplio es una de las razones de por qué las frecuencias de microondas son tan útiles en comunicaciones y a su vez implica problemática en la instalación de la antena para la estación terrena ya que es conveniente verificar el ambiente radioeléctrico del sitio donde se pretende instalar dicha antena, o bien si ya está instalada y se tiene problemas de congelamiento y cuadrícula de la imagen en la recepción de TV satelital.

Esto es mediante un estudio de interferencias terrestres, este es un requisito importante para evitar problemas posteriores. Este proceso se realiza mediante el analizador de espectros para recepción satelital, se utiliza de la manera siguiente: se conecta y alimenta al LNB a través del cable coaxial, a la entrada del analizador de espectros; sosteniendo el LNB con la mano, situados en el punto donde queremos instalar la antena, giraremos 360° enfocando en todas direcciones. Si detectamos alguna señal seguro que es algún parasito cercano, en este caso una interferencia que podría afectar al espectro generado por el satélite.



Figura 5.1. Instalación de antenas parabólicas para canal de TV.

Se recomienda no instalar la antena cerca de radioenlaces, repetidoras de TV y torres de microondas ya que algunos de estos equipos operan en las mismas frecuencias del equipo de recepción satelital y por consecuencia deterioran la señal entrante al receptor. La contaminación radioeléctrica está prohibida por la ley.

Línea de vista

Debido a que las ondas de radio de alta frecuencia son atenuadas por obstáculos, se requiere una clara línea de vista entre las antenas para un óptimo desempeño y un alcance máximo. Línea de vista es el espacio libre que existe entre dos puntos.

En cuanto a la línea de vista se procura instalar la antena en un lugar libre de obstáculos en dirección al satélite, esto es sin que alguna estructura, edificio, arboles, torres, etcétera, interfiera con el apuntamiento de la antena, de esta manera se garantiza el enlace satelital ascendente y descendente de la estación terrena.



Figura 5.2. Antenas con obstrucción hacia el satélite.

5.2 Nivelación de la antena y sistema de tierras

Primero deberemos examinar el lugar donde queremos instalar la antena; puede ser sobre el propio terreno, en una azotea, etc. Es aconsejable que la antena no sea accesible a curiosos, no debe estar expuesta a golpes, que podrían desapuntarla, o incluso averiar la unidad exterior o a las conexiones.

Si se va instalar la antena en el suelo, se excavara de acuerdo al tamaño del mástil de la antena; en el fondo de la excavación se hará un drenado de grava fina (aproximadamente 10 cm), que compactaremos. Se introducirá un cuadrado con los pernos que sean necesarios de manera vertical, que han de sobresalir del fraguado y coincidir con los orificios perforados en la base del mástil.

Si la instalación se realiza en azotea, o sobre suelo construido, lo más aconsejable es buscar una superficie firme y fraguar una base para fijar el mástil y asegurar la antena.

En cualquier caso el mástil deberá quedar bien fijo y perfectamente vertical; esto se comprobaba con un nivel de burbuja o digital como se ilustra en la Figura 5.3 seguidamente procederemos a montar el soporte de la parábola y el propio plato reflector. Cada fabricante incluye las instrucciones concretas para su instalación adecuada.



Figura 5.3. Instalación y nivelación del mástil.

Sistema de tierras

La conexión a tierra de los sistemas y equipos electrónicos, se hace en primer término por razones de seguridad, en el caso de un cortocircuito entre cualquier conductor energizado y cualquier otra parte metálica, por ejemplo alguna canalización, el riesgo de electrocución se debe minimizar.

Adicionalmente, un cortocircuito a tierra puede producir una cantidad excesiva de arco en el punto de la falla, llegando a producir fuego con el daño subsecuente. Las ondas inducidas por rayo se pueden descargar a tierra para prevenir sobrevoltajes peligrosos en algunos equipos o en las carcazas o cubiertas de los equipos, en este caso en particular la antena está expuesta a la caída de rayos por lo que es necesario instalar pararrayos y así evitar daños a la estación terrena.

Un sistema de tierras se refiere a la conexión intencional de uno de los conductores del circuito del suministro a tierra, en un punto particular. La tierra de servicio se refiere a la conexión de los conductores de alimentación y equipo de entrada al servicio a tierra. La conexión a tierra del equipo se refiere a la conexión intencional de los gabinetes, carcazas del equipo y estructuras del equipo a tierra.

Debido a que se va a conectar a tierra las partes metálicas de equipos y aparatos, se trata de mejorar en todos los casos la conducción al suelo de las corrientes, por medio de una resistencia de tierra que sea lo más confiable posible. Se llama resistencia de tierra al valor de la resistencia entre el punto de puesta a tierra y un

punto del suelo en donde el potencial pueda ser sensiblemente modificado para poder conducir convenientemente las corrientes de falla a tierra.



Figura 5.4. Conexión a tierra de la base de la antenna.

En el plano teórico se puede realizar una puesta o conexión a tierra por medio de una varilla enterrada en el suelo o terreno, la conducción de corriente hacia el suelo se hace a través de una sucesión de resistencias colocadas en serie. El electrodo o varilla de tierra se entierra en el suelo a una profundidad de aproximadamente 2 m. con respecto al nivel del suelo. Este electrodo de tierra puede ser una barra cilíndrica de acero recubierta con cobre, de 15 mm de diámetro.

Todo el equipo electrónico debe ser puesto a tierra para evitar diferencia de potencial entre equipos y producir algún desperfecto; es muy recomendable este proceso ya que se maneja audio y video, en el cual se puede generar ruido al no contar con este sistema de tierras o referencia.

5.3 Apuntamiento y aislamiento

Para determinar el apuntamiento de la antenna, hay que tener en cuenta la localización geográfica del lugar de recepción (latitud y longitud) y la ubicación del satélite geoestacionario sobre el plano ecuatorial (longitud), después realizar el cálculo de enlace para determinar el azimut y elevación de la antenna.

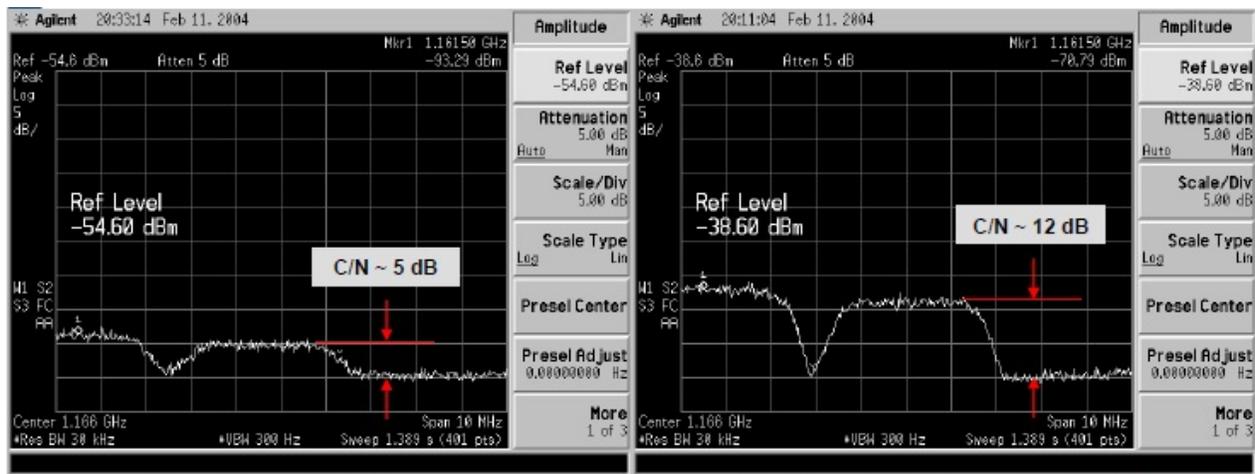
Generalmente, para instalar la antenna se utiliza una brújula, que indica el polo norte magnético, el cual no coincide con el polo norte geográfico. Por tanto habrá que tener en cuenta esta diferencia y corregirla; a dicho error se lo denomina declinación magnética, y varía para cada lugar del planeta e incluso para cada época del año.

Para ajustar la elevación se utiliza el inclinómetro, que como su nombre lo indica, es un medidor de inclinación. Como el inclinómetro se coloca en la superficie de la

antena, lo que realmente se mide es el ángulo complementario. Para el ajuste con el inclinómetro, se suele colocar una regla recta en los extremos de la superficie de la parábola para obtener un plano recto y fiable. En algunos modelos, el inclinómetro viene provisto con la antena.

A continuación se ajusta el desplazamiento de la polaridad al valor necesario. Una vez apuntada la antena, se procede a medir el nivel de señal que se recibe, con el analizador de espectros adecuado, y se reajusta la antena para obtener el máximo nivel de señal.

La optimización del apuntamiento se realiza con movimientos finos de azimut, elevación y polarización; en la Figura 5.5 se observa la señal en la pantalla del analizador de espectros, antes y después del reajuste de apuntamiento.



Espectro recibido con una antena mal apuntada

Verificación del apuntamiento, mejora del C/N & Eb/No

Figura 5.5 Apuntamiento de una antena transmisora.

Aislamiento de la antena

Una onda electromagnética está formada por campos eléctricos y magnéticos íntimamente ligados que se propagan en el espacio. La dirección del campo eléctrico se corresponde con la polarización de esta onda. La polarización de una antena corresponde a la dirección del campo eléctrico emitido por una antena. Esta polarización puede ser: vertical, horizontal y elíptica, circular (hacia la derecha o hacia la izquierda).

Para poder diferenciar entre polarización horizontal y vertical existe un elemento denominado polarizador, que discrimina la polarización según el tipo y la forma de colocarlo. Para pasar de polarización vertical a horizontal y viceversa, basta girar 90° el conjunto alimentador-polarización-conversor. En algunas instalaciones se puede disponer de un servomecanismo o discriminador, que realiza el giro de 90° a distancia (desde la unidad de sintonía), mediante un selector de polaridad horizontal/vertical, que permite cambiar de posición la polaridad del alimentador.

Existen detectores de doble polaridad u ortomodos, que permiten disponer simultáneamente de las señales de TV por satélite en polarización vertical y horizontal. Utiliza dos guías de ondas del tamaño requerido, perpendiculares entre sí; una transmite la polaridad horizontal y la otra la polaridad vertical. Se utilizan dos conversores para cada una de estas señales recibidas.

El aislamiento de la antena se describe como el proceso para separar un puerto de otro, en este caso separar la polarización vertical de la horizontal y viceversa según sea el caso, esto se hace mediante el movimiento del polarizador en coordinación con el operador satelital y transmitiendo una portadora pura; todo el proceso es requerido para verificar que se opere en la polarización asignada y para evitar problemas de interferencia por inducción; el nivel mínimo de aislamiento es de 30 dB y va aumentando según el diámetro de la antena y banda de operación para transmisión satelital; en la Figura 5.6 se ilustra el nivel mínimo de aislamiento con portadora pura.

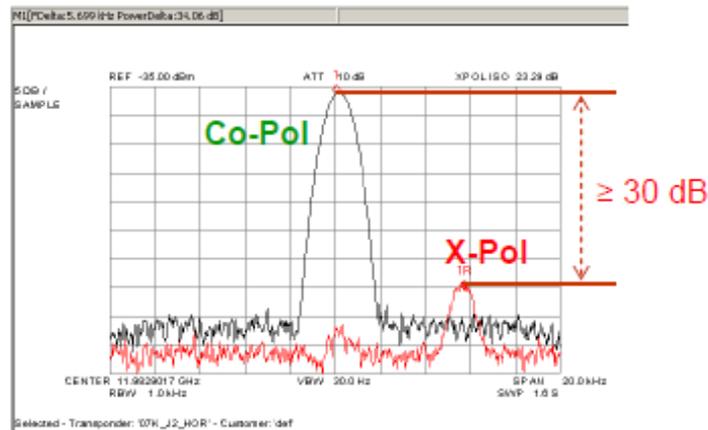


Figura 5.6. Nivel mínimo de aislamiento.

Al tener mal aislamiento de la antena receptora, el tráfico de la polarización contraria puede afectar los niveles de recepción. En la Figura 5.7 se ilustra en forma espectral la portadora antes y después de ajustar el aislamiento a la recepción; se observa cómo se eliminan las portadoras que interfieren de la polarización contraria y el piso de ruido disminuye, esto para obtener mejor nivel de recepción.

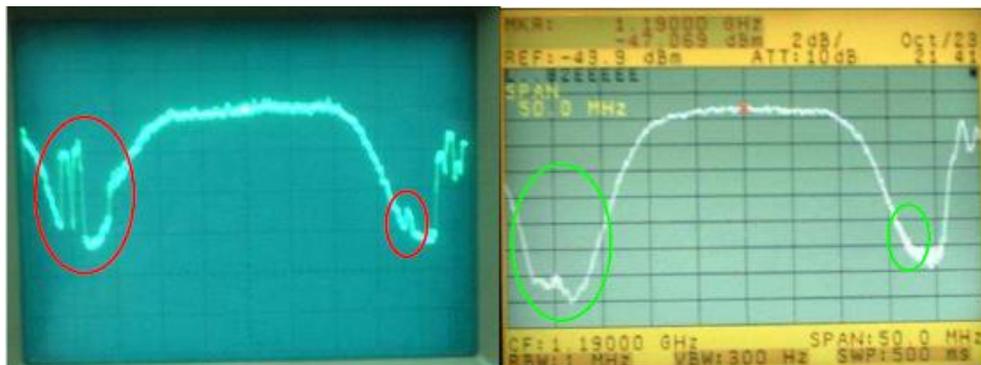


Figura 5.7. Proceso de aislamiento a la recepción.

5.4 Ajuste de potencia a la transmisión

Antes de comenzar la transmisión se realiza un ajuste de potencia, conforme a los parámetros asignados y contratados. Es decir se transmite portadora modulada y se coordina con el operador satelital para ajustar el nivel de potencia adecuado esto nos permite asegurar el óptimo desempeño del transpondedor y de las redes que ahí operan, asegurar el balance ancho de banda vs potencia y evitar interferencias por intermodulación.

En la Figura 5.8 se ilustra el proceso de ajuste de potencia de la portadora, cuando la potencia se excedió y causo intermodulación.

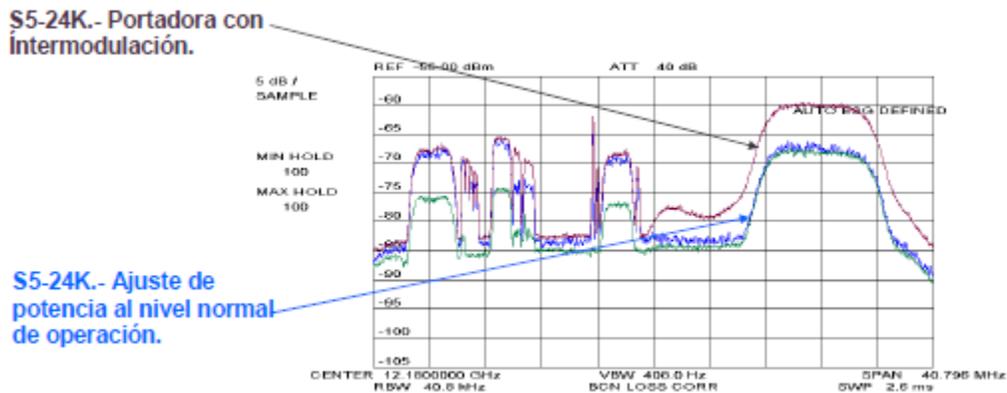


Figura 5.8. Ajuste de nivel de potencia de una portadora con intermodulación, satélite satmex 5, transpondedor 24, banda Ku.

Verificación de parámetros

Se verifican los parámetros de operación de la estación terrena transmisora con ayuda del operador satelital (NOC); los parámetros a verificar son: frecuencia central, ancho de banda, velocidad de transmisión, FEC, modulación, forma espectral y técnica de acceso. El propósito del ajuste es: verificar que la portadora opere en la frecuencia asignada y sea estable en frecuencia, evitar interferencias por corrimiento en frecuencia, verificar que el cliente ocupe el ancho de banda asignado y contratado, evitar que las portadoras de los otros clientes no se traslapen, revisar que la forma espectral coincida con los parámetros asignados al cliente y que esté ecualizada, verificar que la técnica de acceso sea la asignada.

Patrón de radiación

El patrón de radiación de cualquier antena es la forma de energía electromagnética radiada de o recibida por la antena. La mayor parte de las antenas tienen características direccionales que las hacen radiar o recibir energía en una dirección específica. Por lo común, la radiación se concentra en un patrón con forma geométrica reconocible.

Esta prueba se realiza en antenas transmisoras, dicha prueba nos permite asegurar que se aproveche la energía radiada hacia la dirección deseada, propiciar que las transmisiones del cliente no afecten a satélites adyacentes. Este proceso se inicia transmitiendo portadora limpia o lo que es lo mismo sin modular, se coloca la antena en el máximo apuntamiento, se obtienen los trazos de azimut y elevación al mover la antena ± 10 grados en azimut y elevación; después se evalúa el patrón de radiación con especificaciones eléctricas del fabricante con patrón de radiación del fabricante y cumpliendo con la envolvente; al término de la prueba se confirma el numero de reporte, donde se expide la carta de cumplimiento u aprobación y se inicia el servicio de transmisión.

En la Figura 5.9 se ilustra el patrón de radiación que caracteriza el ancho de haz principal contra el diámetro de antena en banda Ku.

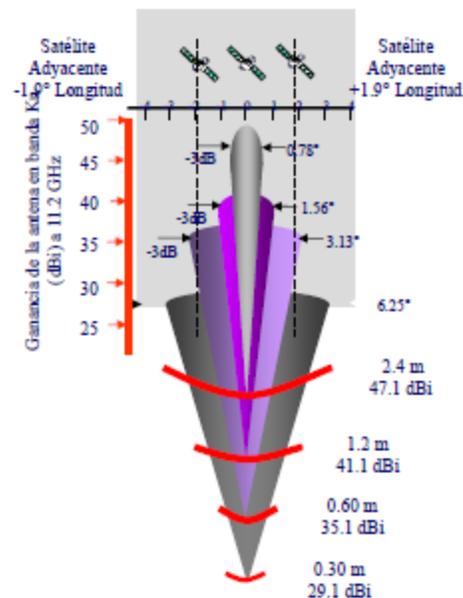


Figura 5.9. Patrón de radiación.

CONCLUSIONES

Gracias a las nuevas tendencias tecnológicas se ha desarrollado el sistema llamado convergencia en donde es posible transmitir video, voz y datos en una misma plataforma optimizando el ancho de banda y el desempeño del equipo, esto se ha logrado porque han surgido nuevos procesos de compresión y modulación para este tipo de datos, por ejemplo, la televisión en alta definición con una compresión MPEG-4 empleando una modulación 8PSK que a la vez nos permite transportar más datos para obtener una mejor calidad en la imagen; sabemos que dicha transmisión se puede realizar en diferentes bandas de frecuencia, las más empleadas para este caso son: banda Ku y banda C, cada una con diferentes limitaciones y ventajas; también mediante este modo de transmisión satelital nos es posible enlazar internacionalmente desde cualquier punto en la faz de la Tierra a diferentes destinos, tal vez en donde ni siquiera lo podemos imaginar, como en el desierto, en una selva o en un glaciar, pues sabemos que siempre habrá cobertura debido a la diversidad de satélites que se pueden emplear y a su vez interconectar.

Es importante mencionar que para que lo anterior sea posible y se lleve a cabo de modo correcto la infraestructura con la que operamos debe encontrarse en óptimas condiciones y por lo tanto se maneja mantenimiento preventivo y correctivo a estos equipos, dentro de los principales procesos encontramos la verificación de la puesta a tierra de la antena y equipos para evitar inducciones de señal que pueden convertirse en interferencias, poner cargas a los divisores de señal con puertos libres, para evitar desacoplamientos e inducciones, tener el diagrama a bloques y el de niveles, para la rápida detección de cualquier tipo de falla en diferentes puntos de chequeo; verificar la Impedancia de cables y equipos para evitar desacoplamientos.

FUENTES DE CONSULTA

Ing. Ángel Galindo Arellano
Principios de Comunicación vía Satélite.
SCT

Juan José García Ruiz de Angulo
Los Satélites de Comunicaciones.
Marcombo

Herrera Pérez Enrique
Comunicaciones I Señales, modulación y transmisión.
Limusa

Satélites Mexicanos, S.A. de C.V.
Sistemas Satelitales.

José Manuel Huidobro Moya
Manual de Telecomunicaciones.
Alfaomega

Hildeberto Jardon Aguilar
Fundamentos de los sistemas modernos de comunicación.
Alfaomega

Carlos A. Merchan Escalante
Telecomunicaciones.
SCT

Carlos Llena, Pedro Valls
Antenas parabólicas de TV.
Alfaomega

Walter L. Weeks
Antenna Engineering.
Mc Graw Hill

F. A. Wilson
Televisión por satélite.
CEAC

Rodolfo Neri Vela
Satélites de Comunicaciones.
Mc Graw Hill

Louis E. Frenzel
Principles of Electronic Communication System
Mc Graw Hill

George Kennedy
Electronic Communication System
Mc Graw Hill

Carlos Rosado
Comunicación por Satélite
Limusa

Wayne Tomasi
Electronic Communication System
Prentice Hall Career & Technology