

C4

T
TK51
V556
c.1

K5104

556

1



1080086897

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

CURSO TESIS

COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE

JUAN EDGARDO VILLANUEVA TORRES

MONTERREY, N. L. SEPTIEMBRE DE 1997.

T
TKS104
V556



INDICE

CAPITULO 1

BREVE HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES.

CAPITULO 2

CARACTERISTICAS DE LA COMUNICACIÓN VIA SATELITE.

- 2.1 Definición de satélite.
- 2.2 Características y aplicaciones de las microondas.
- 2.3 El origen de los satélites de comunicaciones.
- 2.4 Ventajas de la comunicación vía satélite.
- 2.5 Clasificación de los satélites.

CAPITULO 3

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LOS SATELITES DE COMUNICACIÓN GEOESTACIONARIOS

- 3.1 Satélites de gran altura.
- 3.2 La órbita geoestacionaria.
- 3.3 Periodo orbital.
- 3.4 Como hacer llegar el satélite a la órbita geoestacionaria.

CAPITULO 4

EL SATELITE EN EL ESPACIO.

- 4.1 Posición del satélite en la órbita geoestacionaria.
- 4.2 Las fuerzas perturbadoras.
- 4.3 La temperatura del satélite.
- 4.4 Otros factores.

CAPITULO 5

FUENTES DE ENERGIA DEL SATELITE.

- 5.1 Subsistema de energía eléctrica.
- 5.2 Subsistema de propulsión.

CAPITULO 6

ASIGNACION DE FRECUENCIAS.

- 6.1 Frecuencias asignadas y reutilizacion de frecuencias.

CAPITULO 7

ACCESO MULTIPLE.

- 7.1 Acceso múltiple por división de frecuencia.
- 7.2 Acceso múltiple por división de tiempo.
- 7.3 Acceso múltiple por diferenciación de código.
- 7.4 Acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite.

CAPITULO 8.

EL SATELITE Y SU FUNCIONAMIENTO.

- 8.1 Subsistema de antenas.
- 8.2 Subsistema de comunicaciones.
- 8.3 Subsistema de control térmico.
- 8.4 Subsistema de posición y orientación.
- 8.5 Subsistema de rastreo, telemetría y comando.

CAPITULO 9

FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACION TERRENA.

- 9.1 Introducción.
- 9.2 La antena.
- 9.3 El transmisor.
- 9.4 El receptor.
- 9.5 Alimentación de energía.

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

BREVE HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES.

El incremento de las necesidades de canales en las telecomunicaciones mundiales, urgió al hombre durante últimas décadas, a crear nuevos métodos y sistemas de comunicación, capaces de incrementar la cantidad de información transmitida en forma segura, eficiente, y en lo posible, con una rentabilidad superior.

Podemos dividir los sistemas de operatividad a grandes distancias en dos grupos:

- a). Enlaces radioeléctricos por onda corta y microondas.
- b). Enlaces por línea física.

Dentro de los enlaces por *línea física*, podemos incluir los cables de banda ancha, que son muy seguros, y pueden ser incluso hasta intercontinentales por medio de cables submarinos que cruzan océanos y mares. Dentro del concepto de línea física queda incluida la fibra óptica la cual representa una alternativa mas para cortas y largas distancias, presentando algunas ventajas como: mayor velocidad y gran ancho de banda (aun que también presenta ciertas limitaciones).

Hablando de los enlaces radioeléctricos consideremos primero la radiocomunicación por *onda corta*, que solo puede proporcionar un numero limitado de canales, debido a la estrechez del espectro utilizable y que en la actualidad ya esta saturado. Además, estos enlaces están afectados por factores aleatorios ya que dependen de la *ionosfera*, la cual esencialmente es irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un gran porcentaje de incertidumbre.

Dentro de los medios radioeléctricos debemos considerar los enlaces por *microondas* que si bien es cierto constituyen un medio de gran confiabilidad de capas de manejar muchos canales, no es factible su empleo en enlaces intercontinentales debido a la imposibilidad de instalar repetidores, con las características que ellos exigen, en medio de los océanos.

Del análisis efectuado surge una tercer alternativa como solución del problema planteado y consiste en establecer las comunicaciones mediante el uso de objetos situados fuera de la tierra. Dichos objetos conocidos con el nombre de *satélites*, permiten la accesibilidad de las comunicaciones a cualquier parte de la tierra.

La utilización de satélites, ya sea reflectores (pasivos) o relevadores radioeléctricos (activos), hace factible el uso de las *microondas* con las ventajas inherentes de las mismas, en cuanto a capacidad y confiabilidad, para comunicar dos puntos situados sobre la superficie de la tierra agregándose a esto la ventaja que significa la necesidad de poseer solo una repetidora aun cuando la distancia sea considerablemente grande.

Resumen de fechas importantes dentro de la historia de las telecomunicaciones.

-
- 1837 df Samuel Morse inventa un sistema de transmisión codificada
 - 1858 Un cable es colocado a través del Atlántico y permitió la transmisión de telegrafía.
 - 1870 Un enlace telegráfico fue instalado entre Londres y Calcutta.
 - 1876 Alejandro Graham Bell un método eléctrico de transmisión de sonidos por medio de una resistencia variable marcando el inicio del invento del teléfono.
 - 1901 Gillermo Marconi transmite un telegrama mediante ondas de radio a través del Atlántico.
 - 1907 Lee de Forest inventa la válvula *triodo*.
 - 1927 Primer enlace telefónico transatlántico mediante onda corta.
 - 1938 La modulación PCM, inventada por Alec Reeves permite la representación digital de la información analógica.
 - 1948 Se inventa el transistor.
 - 1956 El primer cable telefónico transatlántico es puesto en servicio con 51 repetidores submarinos.

- 1962 El satélite activo "teostar I" de órbita baja es colocado, permitiendo la transmisión transatlántica de televisión.
- 1965 Primer satélite geoestacionario: El intelsat I.
- 1969 Transmisión directa de los primeros pasos del hombre en la Luna.
- 1980 Una sonda espacial transmite fotografías de Júpiter y Saturno.
-

CAPITULO 2.

CARACTERISTICAS DE LA COMUNICACION VIA SATELITE.

2.1.- DEFINICION DE SATELITE.

Un satélite no es mas que una repetidora, que trabaja en el rango de microondas, colocada en el espacio. Un satélite no crea transmisiones por si mismo sino que solo retransmite lo que recibe de la tierra.

2.2. CARACTERISTICAS Y APLICACIONES DE LAS MICROONDAS.

La tabla que se muestra a continuación muestra la clasificación de las bandas del espectro de frecuencias aprobada por los comités internacionales CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía) y CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radio). En esta tabla se puede observar que no existe una banda específica llamada microondas. De hecho no se puede decir que existe un límite exacto de frecuencia para definir cuando se trata de una microonda. Debido a esto los criterios para llegar a una definición son los siguientes:

- a) Se consideran como microondas las señales del orden de los GHz (Gigahertz, 0.3 GHz, 2 GHz, 20 GHz)
- b) Se consideran como microondas las señales con frecuencias de UHF en adelante.
- c) Algunos autores establecen que el rango de microondas es de 0.3 GHz a 300 GHz.
- d) Se pueden definir como microondas las señales con longitud de onda cuya medida sea del orden de centímetros.

BANDA	ABREVIACION	RANGO DE FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
Very Low Frequency	VLF	30 KHz o menor	10 Km. o mayor
Low Frequency	LF	30-300 KHz	10-1 Km.
Medium Frequency	MF	300-3000 KHz	1-0.1 Km.
High Frequency	HF	3-30 MHz	100-10 m
Very High Frequency	VHF	30-300 MHz	10-1 m
Ultra High Frequency	UHF	300-3000 MHz	1-0.1 m
Super High Frequency	SHF	3-30 GHz	10-1 cm
Extremely High Frequency	EHF	30-300 GHz	10-1 mm

Las microondas tienen ciertas ventajas sobre las ondas de radio de menor frecuencia, dentro de estas ventajas las mas importantes son:

- a) Los sistemas de microondas tienen la capacidad de manejar varios canales de televisión y millones de bits de datos digitales, debido a que a mayor frecuencia se dispone de un mayor ancho de banda.
- b) Debido a su muy corta longitud de onda se tienen antenas con muy alta ganancia y alta directividad, es decir que sus antenas tienen un muy angosto ancho de haz lo que permite concentrar la energía en un punto.
- c) Una de las características importantes de las microondas es que cruzan libremente la ionosfera, lo que permite utilizar repetidoras espaciales.
- d) Las microondas viajan en línea de vista.

Por estas y otras características las microondas son altamente utilizables en televisión UHF, redes de microondas, comunicación vía satélite, comunicación troposférica, radio móvil, telemetría, radares, hornos de microondas, y otras aplicaciones industriales, científicas, y medicas.

2.3 EL ORIGEN DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES.

La mayoría de los expertos dan crédito a Artur C. Clarke, famoso escritor británico de ciencia ficción y autor de "2001: Space odyssey", por su original idea de los satélites de comunicaciones geostacionarios. En 1945 Clarke concluyó que un satélite de órbita circular, ecuatorial y con un radio aproximado de 42242 Km. debería tener una velocidad angular igual a la de la tierra. Esto haría "ver" al satélite como un punto fijo en el espacio con respecto aun observador en la tierra y el satélite podría recibir y retransmitir señales desde casi cualquier punto del hemisferio. Con tres satélites espaciados entre si 120 grados se podría cubrir prácticamente todo el globo, ya que Clarke considero la posibilidad de que las señales pudieran ser retransmitidas entre satélites.

Como generalmente sucede con los autores de ciencia ficción, Clarke tubo su idea fuera de tiempo, y no fue sino hasta 1957, cuando la tecnología de los cohetes estuvo disponible, que Rusia lanzo el Sputnik I, (Octubre 4 de 1957).

PRIMEROS SATELITES EXPERIMENTALES Y COMERCIALES DE COMUNICACIONES

NOMBRE	FECHA DE LANZAMIENTO	ALTITUD DE LA ORBITA	SERVICIOS
Score	Diciembre 18, 1958	182 a 1048	Voz, telegrafia, repetición de señales con demora y transmisión de mensajes grabados
Courier I-A	Agosto 18, 1960	No entro en órbita	
Courier I-B	Octubre 4, 1960	943 a 1234	Voz, telégrafo y teléfono, inclusive la transmisión de voz a Puerto Rico
Telstar I	Julio 10, 1962	954 a 5638	Televisión, voz, telégrafo datos y telefoto, inclusive transmisiones entre los Estados Unidos y Europa Occidental y Sud América y entre los Estados Unidos y Japón
Telstar II	Mayo 7, 1963	972 a 10803	Similar al Telstar I
Early Bird	Abril 6, 1965	35787 a 35796	Voz y televisión comercial entre Estados Unidos y Europa.
Molniya I	Abril 23, 1965	497 a 39380	Televisión, voz y telegrafia.

2.4 VENTAJAS DE LA COMUNICACIÓN VIA SATELITE.

A.-) SIMPLIFICACION DEL SISTEMA. Debido a su gran altura (aproximadamente 36,000 Km.) se tiene línea de vista entre el satélite y cualquier estación terrena que este dentro de su arrea de cobertura la cual puede llegar a ser tal, que se cubriría prácticamente el 40% de la superficie de la tierra con un solo satélite. Esto simplifica enormemente el sistema ya que el satélite sustituye a las redes de microondas con las consiguientes ventajas tanto técnicas como económicas.

B.-) MAYOR CALIDAD. Debido a que cualquier proceso electrónico degrada la señal al agregar algo de ruido (aunque sea en grado mínimo), debemos considerar la gran ventaja de manejar un enlace a través de una sola repetidora (el satélite), y por lo tanto una sola fuente de ruido, comparado contra un enlace utilizando una red de microondas de mas repetidoras, por lo tanto mas fuentes de ruido, dependiendo de la distancia del enlace. Definitivamente la calidad de la señal en un enlace vía satélite es mucho mas alta que un enlace a través de una red de microondas.

C.-) **MAYOR CONFIABILIDAD.** Otra consecuencia del hecho de utilizar una sola repetidora, en vez de una red de ellas, es la reducción de posibilidad de fallas a una sola (el satélite), lo cual da una gran confiabilidad al sistema. Además hay que considerar las normas mas estrictas que controlan la fabricación del satélite, lo que permite la seguridad de su funcionamiento durante su tiempo de vida útil. Pero a un debemos agregar a esto, el hecho de que los fabricantes de satélites proveen a este de equipo redundante para las partes mas susceptibles de daño lo que definitivamente garantiza su funcionamiento.

D.-) **ALTA CAPACIDAD. (VENTAJA PROPIA DE LAS MICROONDAS)** Aquí podríamos hacer énfasis en las ventajas de utilizar las microondas como frecuencias portadoras, lo que permite disponer de un ancho de banda amplio y por lo tanto tener una gran capacidad de manejo de información. De hecho, los satélites actuales tienen la capacidad de manejar hasta 24 canales de TV simultáneamente o su equivalente en telefonía (aproximadamente 960 canales telefónicos por cada canal de TV) por cada banda que disponga (C y/o Ku).

E.-) **VENTAJAS DE TIPO SOCIAL.** Por medio de los satélites se tiene acceso a lugares que por medio de otros sistemas de comunicación no se podría, este es el caso de regiones pantanosas, bosques, islas, etc.

2.5 CLASIFICACION DE LOS SATELITES.

A.-) **DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE OPERACION.** Podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Consideremos a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite (grabación, reproducción, amplificación, cambio de frecuencia, etc.).

B.-) **DE ACUERDO A SU APLICACION.** Podemos clasificar a los satélites en dos grupos: civiles y militares. Dentro de los civiles podemos incluir los de comunicaciones, los meteorológicos, los de investigación, etc.

C.-) **DE ACUERDO A SU ORBITA.** Por su órbita los podemos clasificar en geoestacionarios y no geoestacionarios. Un satélite geoestacionario es aquel que permanece fijo con respecto a la tierra, es decir, visto desde la tierra aparecerá como un punto fijo en el cielo. Un satélite no geoestacionario aparecería siempre en movimiento con respecto a la tierra, un ejemplo de esto es la Luna.

En general podemos decir que los sistemas de comunicación vía satélite requieren de una órbita geoestacionaria por las ventajas que esto implica:

I.- Al permanecer fijo el satélite con respecto a la tierra no es necesario rastrear el movimiento para orientar la antena, es decir, una vez que se localiza el satélite y se orienta la antena esta permanecerá fija, factor que gravita preponderantemente en el costo de la estación terrena.

II.- Una vez orientada la antena se dispondrá de el satélite todo el tiempo, ya que este permanece fijo, lo que permite la continuidad del sistema las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.

D.-) **DE ACUERDO A SU COBERTURA.** Clasificaremos a los satélites de acuerdo a su cobertura en globales y domésticos. Un sistema será global cuando su transmisión cubra todo el espacio sobre la tierra, de acuerdo a la línea de vista desde el satélite. En la practica un 40% de la superficie de la tierra es vista desde un satélite geoestacionario. Un satélite será de cobertura domestica cuando su transmisión cubra solo un arrea específica que puede ser grande o pequeña según sean los requerimientos (por ejemplo un país). Aquí debemos incluir un tipo de satélite con cobertura intermedia entre la global y la domestica es decir los "regionales" cuyo objetivo específico es cubrir varias zonas específicas, por ejemplo varios países o alguna región de ellos pero sin intentar cubrir toda el arrea que cubre un global, un ejemplo de estos son los satélites solidaridad I y II de México con cobertura en América Central y del Sur y parte de Estados Unidos.

Técnicamente la diferencia entre un satélite y otro es solamente la antena que es la que define la cobertura. En el caso de un satélite de cobertura global, por ejemplo, los INTELSAT de uso internacional, la antena comúnmente utilizada es de tipo corneta, mientras que en los de cobertura domestica, los Morelos por ejemplo, la antena es de tipo parábola. Los sistemas globales son para comunicaciones internacionales, mientras que los domésticos son para comunicaciones locales, (dentro de un mismo país).

CAPITULO 3

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES GEOESTACIONARIOS

3.1 SATELITES DE GRAN ALTURA.

Conviene resaltar que los satélites de comunicaciones actuales son satélites activos, geoestacionarios con cobertura tanto global como domestica o regional. En base a esto, ubiquemos primero la posición que debe guardar el satélite en el espacio para luego pasar a la explicación de la forma en que se establece la comunicación por satélite, el proceso que sufre la señal, las bandas de frecuencia utilizadas, etc.

De acuerdo con las definiciones, *sistemas de gran altura* son aquellos en que los satélites están colocados en órbitas cuyas distancias desde la superficie de la tierra superan los 20,000 Km.

Como caso particular tomaremos el proyecto "Syncom" por ser este sistema un caso típico, además de pertenecer a los llamados satélites de gran altura (36,000 Km. aproximadamente). Se le llamo "Syncom" porque tiene una velocidad angular igual a la de la tierra, en consecuencia se mantiene casi estacionario en un determinado punto en el espacio elegido convenientemente a fin de satisfacer los objetivos planteados. Las dos ventajas fundamentales que ofrece este sistema, son:

- a) Permite el uso de antenas terrestres estacionarias.
- b) El satélite es visible desde casi la mitad de la superficie de la tierra.

El experimento Syncom coloco un satélite aproximadamente a 36,000 Km. arriba del ecuador de la tierra y apunto la dirección de avance del satélite a lo largo de una línea idéntica a la de rotación de la tierra sobre su eje. Controlando cuidadosamente, desde la tierra a través de sistemas de mando por radio, la velocidad de avance del satélite y sincronizándola a la velocidad de rotación de la tierra sobre su eje, el satélite alcanzo lo que se conoce como *órbita geoestacionaria*. Esto es, el satélite se mueve al frente con la misma velocidad que la tierra sobre su eje, y esto significa que para una estación transmitiendo y recibiendo localizada en la tierra, el satélite siempre estará situado en el mismo punto relativo en el cielo. Se requiere de un sistema muy cuidadosamente diseñado para el lanzamiento y puesta en órbita del satélite.

3.2 LA ORBITA GEOESTACIONARIA.

La idea de Arthur C. 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 debería desplazarse en el mismo sentido de rotación que la tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completase una vuelta cada 24 horas, debería estar a aproximadamente 36,000 Km. de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3,075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la tierra.

La órbita en cuestión recibe el nombre de *órbita geoestacionaria*, pero con frecuencia muchos autores e investigadores se refieren a ella como el *cinturón de Clarke*, en justo reconocimiento a su promotor. En la actualidad es la órbita mas congestionada alrededor de la tierra; la mayoría de los propietarios de los satélites, quieren estar ahí por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones.

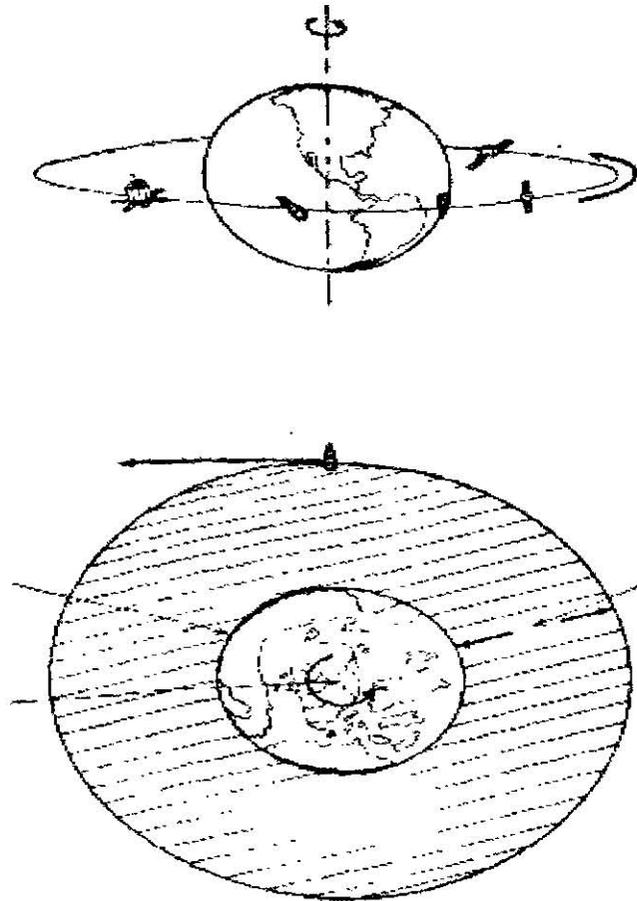


Figura 3.1 los satélite geoestacionarios giran alrededor de la tierra sobre un plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas.

En resumen, las condiciones para que el satélite guarde una órbita geoestacionaria son las siguientes:

- a) La órbita debe ser circular.
- b) La órbita debe ser ecuatorial.
- c) La altura sobre el nivel del mar debe ser 35,890 Km.
- d) El satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la tierra.

3.3 PERIODO ORBITAL

Un satélite geoestacionario conserva una órbita ecuatorial de aproximadamente 24 horas, de periodo orbital. Este periodo orbital, para el caso de una órbita circular, se encuentra definido por la ley de *Keppler*.

Johannes Keppler (1571-1630), un matemático y astrónomo Alemán quien examino y propuso los datos necesarios para las *leyes del movimiento planetario de Keppler*. Después de la publicación de sus primeras dos leyes relacionadas con el movimiento de los planetas, Keppler comenzó a buscar una relación entre los movimiento de diferentes planetas y una explicación de estos movimientos. Diez años después publico (*De harmonica Mundi*) *La Armónica del Mundo*, en la cual establece su tercera ley del movimiento planetario, conocida como *ley harmonica*:

La razón del cuadrado del periodo y el cubo de la mitad de la distancia de el eje mayor de la elipse es la misma para todos los planetas

Esta ley puede ser escrita como:
$$\frac{T^2}{R^3} = K$$

Donde: T= periodo
R= la mitad de la distancia del eje mayor de la elipse
K= constante para todos los planetas

Para explicar la tercera ley de Kepller, Newton mostró la siguiente ecuación:

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM_{SOL}}$$

Donde: T: Periodo de un planeta.
R: Distancia entre el planeta y el sol
G: Constante gravitacional
M_{SOL}: Masa del sol

El valor de G es una cantidad muy pequeña ($6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{Kg}^2$) y este valor es constante en cualquier parte del universo. Aplicando la ecuación anterior a la Tierra y sus satélites naturales o artificiales, resultara la siguiente ecuación:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{G m_{Tierra}}$$

Donde: T= periodo orbital 24 horas
R= radio de la tierra ecuatorial 6.378×10^6 mts.
G= constante gravitacional
h= altura del satélite
m_{Tierra}= masa de la tierra 6×10^{24} Kg

La relación ($G m_{Tierra}$) se considera como constante de Kepller y tiene un valor constante, para el planeta Tierra es de:

$$3.99 \times 10^{24} \text{ m}^3 / \text{seg}^2$$

3.4 COMO HACER LLEGAR EL SATELITE A LA ORBITA GEOESTACIONARIA.

Sin las leyes de Isaac Newton que rigen la mecánica clásica, seguramente los científicos del siglo XX no hubieran podido colocar satélites alrededor de la tierra. Gracias a el se sabe que la fuerza de atracción entre un cuerpo y la tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que hay entre ellos y directamente proporcional al producto de sus masa; 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 con satélites artificiales en su interior, y que estos últimos conserven su posición en el espacio una vez que han llegado ahí.

Todos los sistemas satelitales hacen uso de los principios anteriores y de muchos otros. En teoría, el numero de tipos de órbita en las que un satélite se puede colocar alrededor de la tierra es infinito, pero como ya se indico anteriormente, la mas codiciada y utilizada de las órbitas posibles es la geoestacionaria. Para llevar a un satélite a esta órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

3.4.1 INYECCION DIRECTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA.

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de clark, sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio si es necesario en los otros dos procedimientos que se explican mas adelante. La inyección directa a la 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 el, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en perfectas condiciones aumenta. El cohete Titán IIC de los E.E.U.U. es un ejemplo de lanzador que puede emplearse con este fin.

3.4.2 INYECCION INICIAL EN ORBITA ELIPTICA.

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir, muy alargada, 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 geosincrona, hasta que se lleva a cabo la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios de el mismo.

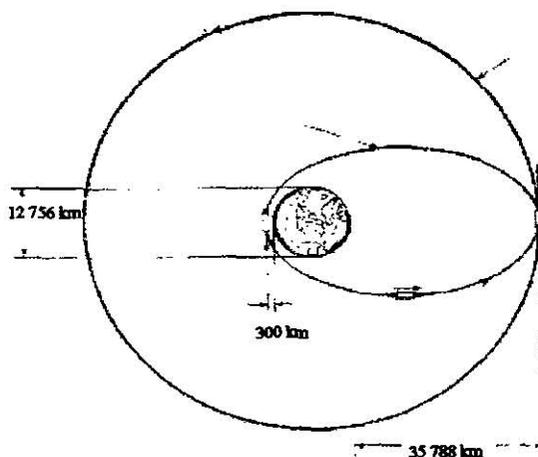


Figura 3.2 El satélite primero se pone en una órbita elíptica de transferencia y después de varias vueltas, en uno de los apogeos se enciende el motor que circulariza la órbita.

El perigeo de la órbita de transferencia geosincrona esta normalmente a una altura aproximada de 200 Km. sobre el nivel del mar y su apogeo cercano de los 35,788 Km., que es la altura final a la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva un motor acoplado que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la ultima 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 geosincrona a la circular geoestacionaria. Los lanzadores Ariane de la Agencia Espacial Europea, comercializados por Arianespace, así como los cohetes Delta y Alfa-centauro de E.E. U.U., entre otros, operan bajo los principios de esta segunda técnica.

3.4.3 INYECCION CIRCULAR EN ORBITA CIRCULAR BAJA.

Esta es la técnica empleada por el Sistema de Transportación Espacial de la NASA de E.E.U.U., 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.

El orbitador despega llevando al satélite en un compartimiento de carga 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 del compartimiento de carga, quedando de esta forma también en órbita circular baja alrededor de la tierra, aunque separado del vehículo espacial; la velocidad inicial del satélites la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por el efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, y cuarenta y cinco minutos mas tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su motor de perigeo 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, en la sección 3.4.2. 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, mas adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado en el cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura 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 hay que lograr pasar de un plano a otro, y todo ello haciendo el menor consumo posible de energía (combustible) para reducir los costos de lanzamiento.

CAPITULO 4.

EL SATELITE EN EL ESPACIO

4.1 POSICION DEL SATELITE EN LA ORBITA GEOESTACIONARIA

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. Sin embargo, no es el primero en llegar ahí; hay muchos otros satélites en el mismo cinturón, algunos jóvenes otros viejos, de configuraciones, tamaños y aplicaciones distintas; muchos de ellos reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado también usara durante su funcionamiento, por muchos años. Afortunadamente, aunque todos son vecinos, no se encuentran colocados en el mismo punto; de hecho, están separados entre si por dos a tres grados de arco, equivalentes a 1500 y 2200 kilómetros respectivamente, con lo cual se garantiza que no exista 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 mas codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor trafico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico, debido a que en sus lados se encuentran los paises industrializados de América del Norte y Europa. Por lo que se refiere al trafico interno o domestico de señales, se intuye que una de las zonas mas 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, E.E.U.U., y Canadá, así como las longitudes mas cercanas a sus territorios.

Regresando al satélite recién llegado, este no debe causar problemas de interferencia ni degradaciones en la calidad de las señales recibidas y transmitidas por el, y por lo tanto debe permanecer ahí lo mas fijo posible. Es decir, aun cuando se este 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 tirándolo de el de un lado a otro. Necesita ayuda para resolver todos estos contratiempos, y tener así mismo cierta flexibilidad de movimiento limitado. A través del subsistema de propulsión del satélite es posible ayudarle a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

En la figura 4.1 se muestran las dimensiones de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio. Mientras el satélite se mueva dentro de ella, no habrá ningún problema, pero hay que rastrearlo permanentemente para observar su posición y encender el sistema de propulsión a control remoto antes de que se salga de estas dimensiones. Claro esta que para realizar todas estas maniobras con precisión, se necesita contar en la 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.

Cada vez que el subsistema de propulsión se activa para corregir la posición y orientación del satélite se consume combustible, y poco a poco los tanques de almacenamiento se van vaciando. ¿ Que ocurre cuando ya no hay combustible en los tanques de almacenamiento, después de varios años de haber realizado gran numero de maniobras correctivas? Simplemente, ya no es posible mantener al satélite dentro de la caja imaginaria, y tampoco orientarlo correctamente hacia la superficie de la tierra; se corre el riesgo de causarle interferencia a los otros satélites, además de otros problemas operativos en tierra, y la única solución es apagar el satélite, concediéndole su jubilación. El numero de años que pueda funcionar adecuadamente, es decir, su vida útil, depende en gran medida de la eficiencia con la que los operadores en tierra administren el combustible contenido en los tanques de almacenamiento del satélite.

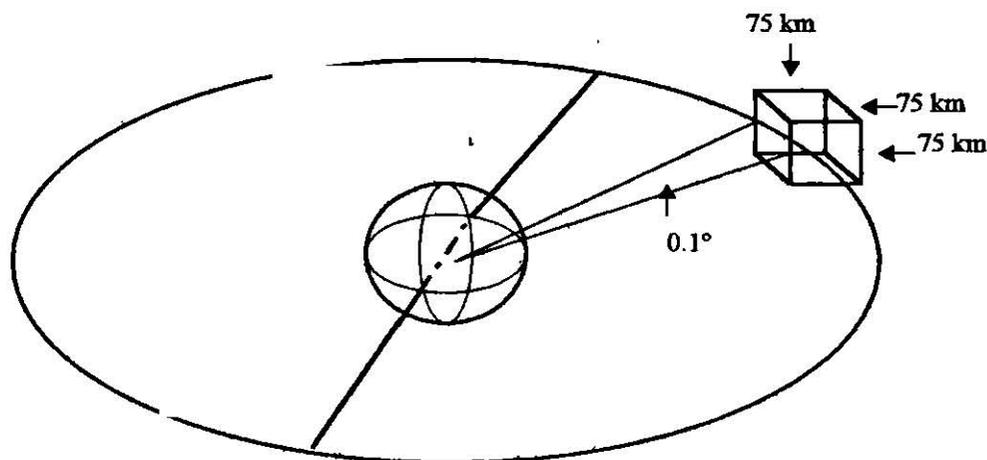


Figura 4.1 Aquí se muestra la caja imaginaria en la cual el satélite se puede mover sin que haya ningún problema.

4.2 LAS FUERZAS PERTURBADORAS.

¿Cuales son las fuerzas que causan tantos problemas para conservar al satélite fijo en su posición geoestacionaria? La fuerza que mas le afecta es el campo gravitacional de la Tierra. Este campo no es esféricamente uniforme, pues la distribución de la masa del planeta no es homogénea. Es decir, si se imaginase a una gran esfera en cuyo centro este el centro de la Tierra, y si pudiese medirse de alguna forma la intensidad del campo gravitacional en todos los puntos de la superficie de esa gran esfera imaginaria envolvente, no se obtendría el mismo valor en todos los puntos. Mas aun, la tierra no es una esfera perfecta, sino que esta achatada en sus polos, y el círculo ecuatorial no es en verdad un círculo, sino una elipse, aun que de muy poca excentricidad; el eje mayor de esta es 150 metros mayor que el eje menor. Para que se tuviese una uniformidad esférica del campo gravitacional de la tierra, en primer lugar esta debería de ser una esfera perfecta, y además su masa tendría que estar mezclada homogéneamente; ambas cosas son por supuesto imposibles, dada la manera en que se formo y a que gira sobre su propio eje.

La no uniformidad del campo gravitacional de la tierra, combinada con el hecho de que la estructura del satélite tampoco tiene una masa homogénea, puesto que sus componentes están fabricados con una gran diversidad de materiales, produce un par gravitacional. Este par o fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita; dicho cambio de velocidad o aceleración hacen a su vez que el satélite cambie de posición en longitud, es decir, que se mueva al oeste o al este sobre el arco geoestacionario, dentro de la caja imaginaria.

El campo gravitacional de la tierra es la fuerza de mayor influencia sobre la posición y orientación del satélite, debido al gran tamaño que tiene el planeta y a la relativa cercanía del satélite al mismo, pero la Luna también ejerce una fuerza gravitacional perturbadora. Sin embargo como esta ultima es mucho mas pequeña que la de la Tierra y además se encuentra 10 veces mas lejos del satélite que este de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo, al igual que el caso de la fuerza gravitacional perturbadora del Sol. De cualquier manera, la combinación de estas fuerzas produce un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial, es decir de norte a sur dentro de la caja imaginaria; esto origina una inclinación de su plano orbital de operación con respecto al plano ecuatorial en el que idóneamente debería permanecer. Tal inclinación indeseable entre ambos planos es del orden de un grado por año, medido hacia el plano de la elíptica; un 30% de inclinación se debe a efectos del Sol y un 70% se debe a efectos de la Luna. Dicha atracción combinada produce además una cierta variación en la posición longitudinal del satélite, aunque no es tan importante como la causada por el campo gravitacional de la Tierra.

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura. Esta fuerza acelera al satélite, y su efecto es mayor en satélites que tienen sus arreglos solares montados sobre paneles desplegables que en los satélites de configuración cilíndrica, puesto que en el primer caso la superficie total expuesta a la presión de la radiación solar es mucho mayor; el principal efecto de esta fuerza es cambiar la excentricidad de la órbita

del satélite, y como la resultante no incide precisamente sobre su centro de masa, al mismo tiempo se produce un giro, que cambia su orientación con respecto a la superficie del planeta.

El campo magnético de la Tierra también produce un par o fuerza perturbadora sobre el satélite, pero en realidad su efecto es despreciable en comparación con el de las fuerzas comentadas anteriormente. Existen, además, otras cuya aparición y efecto son imperdibles, producida por el impacto de meteoritos. Cuando hay la colisión de un meteorito con el satélite, el primero le transmite un momento al segundo, que modifica ligeramente su posición y orientación.

Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solamente por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite genera otras fuerzas perturbadoras. El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite. Conviene apuntar que conforme los tanques se van vaciando, el centro de masa del satélite cambia; por lo tanto, cuando se activa el subsistema de propulsión para corregir errores en orientación y posición, el empuje resultante no se aplica sobre el centro de la masa; esto produce pares o fuerzas igualmente perturbadoras durante la realización de las correcciones.

Por último, la misma radiación radioeléctrica de las antenas del satélite produce una presión, cuyo efecto es importante cuando la potencia de transmisión del satélite es alta y esta concentrada en un haz de iluminación muy angosto. Esta fuerza origina un giro del satélite, y para reducir al máximo su efecto sobre él, se debe diseñar con antenas colocadas simétricamente con respecto a su centro de masa, o bien, el eje de radiación principal de la antena debe contener dicho centro de masa.

Como puede verse, el nuevo hogar del satélite es muy inestable, y por ello su subsistema de propulsión es sumamente importante para poder mantenerlo dentro de la habitación que le corresponde en el espacio, es decir, dentro de su caja imaginaria. Sin embargo, hasta ahora solo se ha hablado de los efectos perturbadores mecánicos o de movimiento sobre el satélite; a continuación se mencionan otros, que también alteran su funcionamiento correcto, como son la radiación solar, las partículas cósmicas y los eclipses.

4.3 LA TEMPERATURA DEL SATELITE

El satélite está integrado por gran número de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales y diseñados para realizar funciones diversas. Por ejemplo, las celdas solares trabajan con mayor eficiencia entre -100°C y $+50^{\circ}\text{C}$, las baterías solamente entre 0°C y $+20^{\circ}\text{C}$, y los tanques de combustible deben estar entre $+10^{\circ}\text{C}$ y $+50^{\circ}\text{C}$; el equipo electrónico y los sensores infrarrojos, entre otros componentes, también requieren rangos específicos de temperatura para funcionar bien. Por lo tanto, es preciso garantizar un control térmico eficaz en la estructura del satélite y en cada uno de los equipos para que no falle. El mecanismo para hacerlo es muy complejo, pues se necesita mantener un balance térmico entre la energía que el satélite recibe por la radiación de fuentes externas cambia constantemente conforme el satélite gira alrededor de la tierra, ya que según la hora del día y época del año la magnitud de la radiación que recibe del Sol y de la tierra es variable.

La principal fuente de radiación externa es el Sol, y aun cuando causa algunos problemas para conservar el balance térmico en el satélite, es obvio que sin él no sería posible generar electricidad a través de las celdas solares. Por un lado, el Sol permite generar electricidad para que el satélite funcione, pero por otro complica el diseño del mismo. En todo momento el satélite tiene varias de sus partes expuestas a distintas temperaturas; mientras la cara que está orientada hacia el Sol se calienta mucho, las partes no iluminadas se enfrían. En el interior del satélite, la transferencia de calor se lleva a cabo por conducción, y en el espacio por radiación, puesto que el medio ambiente de casi vacío excluye la posibilidad de que en este último se pueda transferir por convección. En cuanto a la contribución térmica de la tierra, esta consiste en radiación infrarroja emitida por ella misma y de la reflexión de los rayos solares sobre su superficie, denominada albedo; sin embargo, el efecto térmico de su radiación total es despreciable en comparación con el producido con la radiación solar directa.

Por otra parte, cuando ocurre un eclipse, el satélite no solamente se enfría machismo al interponerse la Tierra entre él y el Sol, sino que además no puede transformar energía solar en electricidad; en estas condiciones el satélite necesita obtener su energía de alguna otra fuente para seguir

funcionando. Esta fuente de respaldo esta constituida por varias baterías que forman parte del satélite, y gracias a ellas el servicio no se interrumpe durante un eclipse o la noche terrestre.

2.4 OTROS FACTORES.

Hasta ahora se han visto ya la mayor parte de los factores que alteran el funcionamiento correcto de un satélite geostacionario y que, por consiguiente, exigen en el un buen diseño y una supervisión y control permanentes. A continuación se mencionan algunos otros factores importantes que complican aun mas la vida operativa del satélite.

La radiación ultravioleta del Sol causa que los materiales del satélite se ionicen; esto produce un aumento en la conductividad de los aisladores y cambios en las características de emisión t absorción de calor de los materiales protectores. Además, la misma radiación degrada poco a poco la eficiencia de las celdas solares, que después de varios años de trabajo de estar expuestas al Sol reducen su eficiencia en un 20% a 30%.

El medio ambiente de casi vacío ocasiona, por su parte, que los metales y los semiconductores se sublimen y tiendan a evaporarse. La cantidad de masa que pierden depende mucho de la temperatura, pero en realidad estas perdidas son despreciables siempre y cuando los materiales utilizados para proteger al satélite no sean muy delgados. Hay otros efectos que pueden resultar mas dañinos, como es la posibilidad de que se condensen gases en superficies frías y produzcan un corto circuito en materiales aislantes. Como punto a favor, el medio ambiente de casi vacío tiene la ventaja de que elimina la posibilidad de haya problemas por corrosión.

Adicionalmente, las partículas cósmicas que inciden sobre el satélite ocasionan que sus plásticos se ionicen que la eficiencia de sus celdas se degrade aun mas; por si fuera poco, también pueden modificar el acabado de las superficies diseñadas para controlar su balance térmico. En la sección 4.2 se menciona que los meteoritos podrian modificar la orientación y posición del satélite, pero además de esto, algunos pueden también perforar partes de su exterior, por la enorme energía que traen consigo a la velocidad que viajan. Este efecto podria resultar desastroso para la supervivencia del satélite, y por ello la estructura debe tener la rigidez suficiente y capacidad de amortiguamiento para resistir impactos de poca intensidad.

Con todo esto sea descrito someramente el medio ambiente hostil en que un satélite geostacionario debe sobrevivir durante varios años. Lo que es cierto es que diseñar un sistema de comunicaciones por satélite es una verdadera obra de arte tecnológica, en la que intervienen por lo menos las ramas de la *astronomía, mecánica, electricidad y electrónica, computación, comunicaciones, ciencia de materiales, química e ingeniería civil.*

CAPITULO 5.

FUENTES DE ENERGIA DEL SATELITE

5.1 SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular depende de sus características de operación, y normalmente varía entre los 500 y 2000 watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

Con excepción de las primeras horas inmediatas a su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por las baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas solares. Hasta ahora, ningún satélite comercial de comunicaciones utiliza energía nuclear, pues los combustibles como el curio-244 y el plutonio, aun cuando son relativamente fáciles de usar y requieren un sistema de protección sencillo para que no dañen por radiación a los circuitos electrónicos del satélite, son muy caros; por otra parte, los combustibles baratos, como el estroncio-90, son peligrosos y pueden implicar un grave riesgo en perjuicio del medio ambiente. Solo las sondas interplanetarias enviadas hacia los planetas exteriores justifican el uso de generadores de radioisótopos, pues la densidad de energía solar por unidad de volumen es muy baja en aquellas regiones.

Una gran desventaja que actualmente tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo. En un principio era del orden del 8%; ahora se utilizan celdas con una tecnología mejor, que brindan factores de eficiencia del 10% al 12%, pues también aprovechan gran parte de la energía radiada por el Sol en la región ultravioleta de su espectro. Aun así, esta eficiencia sigue siendo muy baja, y es probable que en los próximos años el silicio con el que están hechas las celdas de hoy sea sustituido por el arseniuro de galio, ya que experimentalmente se ha demostrado que este último material ofrece una eficiencia de aproximadamente 18%. Con arseniuro de galio se puede obtener un cierto voltaje usando menos celdas conectadas en serie que el número que se requiere cuando se emplea el silicio; además de esto, las primeras tienen la ventaja de que son menos dependientes de la temperatura, pero todavía son muy caras y densas, y pasarán varios años antes de que comiencen a utilizarse a gran escala.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares; cuanto más baja sea esta, mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas. Cuando el satélite se encuentra a la distancia de una unidad astronómica del Sol (1 UA es la longitud del semieje mayor de la órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol, aproximadamente igual a ciento cincuenta millones de kilómetros.), la intensidad de la radiación solar sobre las celdas es de 1350 watts por cada metro cuadrado de superficie. Si se toma en cuenta que la eficiencia promedio de conversión de electricidad es de 10%, y que un satélite estándar requiere alrededor de 1 kilowatt de potencia, es evidente que necesita contar con muchos metros cuadrados de celdas solares. Cada celda solar tiene un área de unos 5 centímetros cuadrados, y uniendo muchas celdas en serie y en paralelo es posible formar un arreglo solar. Todas las celdas se ven expuestas sobre su vida de operación a diversos tipos de radiaciones, que año con año van disminuyendo su eficiencia aun más; después de unos siete años de operación, la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a la eficiencia original, aun cuando llevan una cubierta de protección hecha de sílice fundido.

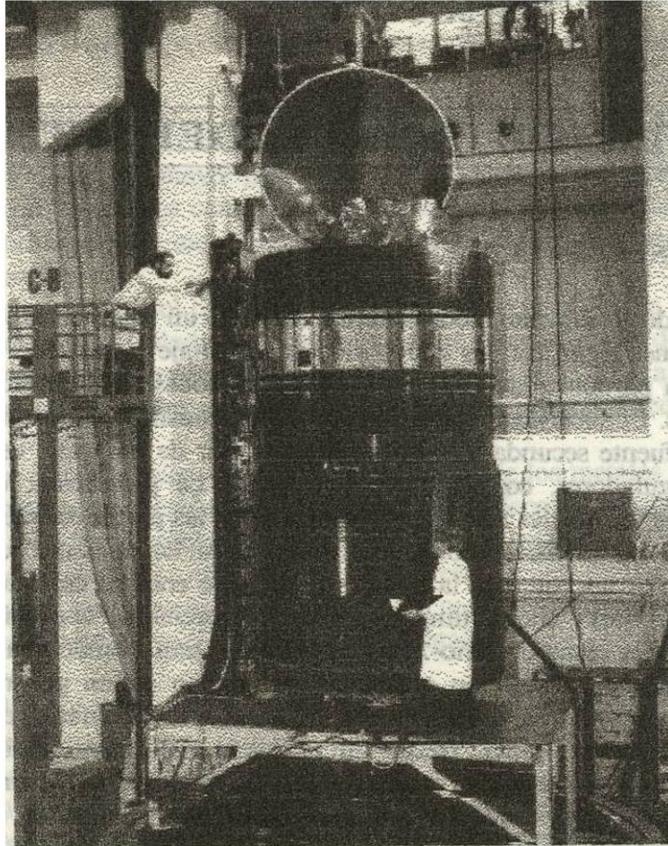


Figura 5.1 Ejemplo de un satélite de configuración cilíndrica con estabilización por giro. El Morelos I tiene sus celdas de dos cilindros que se extienden telescópicamente.

La intensidad de la radiación solar sobre las celdas del satélite no es constante, puesto que este se acerca o se aleja del Sol junto con la Tierra al desplazarse alrededor de él, completando una vuelta en un año; cuando el satélite y la Tierra se acercan al Sol, la intensidad de la radiación solar sobre las celdas aumenta. Además., hay que tomar en consideración que el eje de rotación de la Tierra está inclinado con respecto a la elíptica, y que por lo tanto el ángulo de incidencia de los rayos de Sol sobre la Tierra (y sobre la superficie del satélite) cambia según la época del año, conforme ambos orbitan a su alrededor, creándose un movimiento aparente del sol con respecto a la tierra (y al satélite). Cuanto mayor sea la desviación del ángulo de incidencia de los rayos de Sol con respecto a una incidencia perpendicular de referencia, menor es la conversión a energía eléctrica. En resumen, ambos efectos; la distancia del satélite al Sol y el movimiento aparente del Sol con respecto al satélite, ocasionan que en diferentes épocas del año se tenga más o menos energía eléctrica disponible, siendo máxima durante los equinoccios y mínima en los solsticios.

Como se ve más adelante, existen dos formas de mantener a los satélites geoestacionarios relativamente estables en lo que concierne a su orientación con respecto a la Tierra, a pesar de los efectos mecánicos producidos por las fuerzas que se describieron en el capítulo 4. Estas dos formas de estabilización por giro y la estabilización triaxial con cuerpo fijo. Los satélites estabilizados por giro son cilíndricos y llevan las celdas solares montadas sobre la mayor parte de su superficie, envolviendo casi totalmente su perímetro. En cambio los satélites de cuerpo fijo y de estabilización triaxial no tienen una geometría cilíndrica, sino que asemejan un tubo a caja, y normalmente emergen dos largos y planos paneles solares de sus costados, en forma de alas.

En el caso de los satélites estabilizados por giro o rotación, no todas las celdas solares están expuestas al Sol en todo momento, y solamente se aprovecha una parte de ellas para efectuar la conversión a electricidad; de hecho, el porcentaje aprovechado en cada instante es de aproximadamente un tercio, a consecuencia de la parte oculta al Sol y la pared curva del cuerpo cilíndrico del satélite sobre el cual están montadas las celdas. Por lo que respecta a los satélites de cuerpo fijo con estabilización triaxial, en su

interior hay volantes inerciales que actúan como giroscopios y que mantienen estable al satélite sin necesidad de que este gire. Sus paneles solares cuentan con un mecanismo para orientarse constante y óptimamente hacia los rayos del Sol; esto permite aprovechar al máximo las celdas y todas al mismo tiempo, ya que la eficiencia de conversión es función del ángulo de incidencia de los rayos de Sol sobre ellas. Por tal razón, los satélites con este tipo de estabilización brindan mayor capacidad de generación de energía eléctrica que la de los estabilizados por rotación, e invariablemente se opta por ellos cuando sus requerimientos de potencia lo exigen; tal es el caso de los satélites de radiodifusión directa de televisión, que necesitan varios kilowatts de potencia para operar eficaz y económicamente.

Con base en lo anterior, es razonable preguntarse porque se usan los satélites estabilizados por giro; hay varias razones para hacerlo en algunos casos, como a continuación se describe. La disponibilidad de contar con mayor energía eléctrica en un satélite de estabilización triaxial es desde luego muy atractiva, pero hay varias desventajas que deben considerarse antes de tomar una decisión. Por un lado existe la posibilidad de que poco después de poner al satélite en órbita, sus paneles solares no se extiendan, o que no puedan ser reorientados, por la falla de algún mecanismo. Problemas como este ya han ocurrido en algunas ocasiones. Aunado a esto, y tal como se describe mas adelante, los diseños del subsistema de control térmico y la parte de inyección de combustible del subsistema de propulsión son mas sencillos en un satélite estabilizado por giro que en otro de estabilización triaxial. De allí que no se pueda concluir que un tipo de satélite sea mejor que otro; sin embargo, la necesidad de tener disponibles muchos kilowatts de potencia si conduce invariablemente a la elección de satélites de estabilización triaxial.

Durante toda su vida de operación, como se explico en el capítulo 4, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos necesita tener su energía eléctrica de alguna otra fuente que no sea el Sol para poder seguir funcionando; esta fuente secundaria o de respaldo la constituye un conjunto de baterías, que se cargan cuando las celdas solares se hallan expuestas al Sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía. En el momento en que ocurre un eclipse, ya sea de Tierra o de Luna, unos relevadores detectan la disminución en la energía eléctrica suministrada por las celdas solares a los equipos y conectan automáticamente a las baterías. De esta forma, las baterías comienzan a descargarse poco a poco, mientras alimentan al satélite, y su operación se puede requerir durante muchos minutos, a veces mas de una hora, dependiendo de la duración del eclipse. Cuando este concluye y el satélite queda expuesto otra vez a los rayos del Sol, las celdas solares vuelven a hacerse cargo como fuente primaria de energía al mismo tiempo que cargan a las baterías para que estén listas para cuando se les requiera nuevamente.

Los eclipses ocurren cuando la Luna o la Tierra se interponer entre el satélite y el Sol. Dada la inclinación del eje de rotación del globo terráqueo con respecto a la elíptica y a que el satélite gira alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, los eclipses de Tierra no ocurren todo el año, sino solamente dentro de los 21 días antes y después de cada equinoccio; los eclipses pueden durar en cada uno de esos días desde unos cuantos minutos hasta un máximo de 70 minutos, en la fecha de los equinoccios de primavera y otoño

Cuando ha transcurrido precisamente la mitad de cada uno de los eclipses, la hora local terrestre en longitud geográfica sobre la cual esta colocada el satélite es medianoche; obviamente, si el satélite no tuviese baterías, el servicio se vería interrumpido alrededor de esa hora, durante el tiempo que durara el eclipse. Sin embargo, alrededor de la medianoche todavía hay una gran demanda de servicio del satélite, por lo que desde un principio, cuando se coloca en órbita, conviene situarlo en una longitud geográfica desplazada hacia el oeste con respecto a la zona geográfica de servicio; de esta forma el eclipse ocurre en realidad un poco mas tarde.

En cuanto a los eclipses de Luna se refiere, estos ocurren cuando ella se interpone total o parcialmente entre el Sol y el satélite. El fenómeno puede suceder entre 0 y 4 veces por año, con un promedio de 2; asimismo, puede acontecer 2 veces en un mismo periodo de 24 horas, y su duración puede variar desde unos cuantos minutos hasta un poco mas de 2 horas, con un promedio de 40 minutos.

Las baterías que mas se utilizan en los satélites geoestacionarios de comunicaciones son de *niquel-cadmio*; su eficiencia de potencia/peso es baja, pero se prefieren porque son muy confiables y de larga duración. Sin embargo, algunos satélites ya utilizan baterías de *niquel-hidrogeno*, que poseen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores y poco a poco las irán reemplazando desde la fecha hasta el año 2000. Hay otros tipos de baterías que aun se encuentran en etapa de investigación, por ejemplo, de plata-hidrogeno, litio y sodio

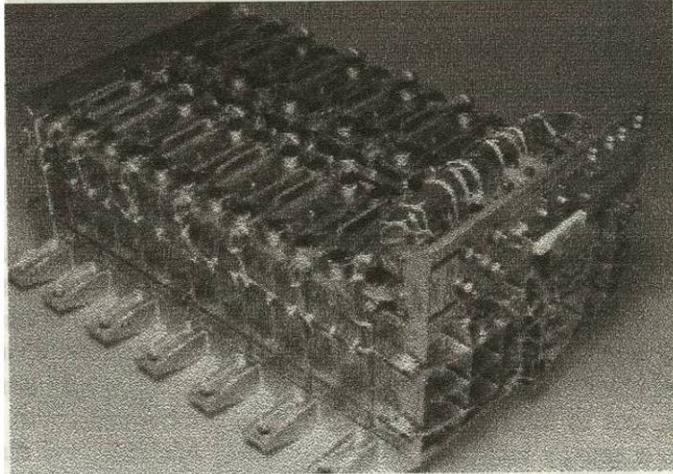


Figura 5.2 Baterías de níquel-cadmio de un satélite.

5.2 SUBSISTEMA DE PROPULSION.

El subsistema de propulsión o de controla reacción opera según el principio de la tercera ley de Newton; mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de toberas o conductos de escape, se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros son de mayor uso por que proporcionan niveles de empuje cientos o miles de veces que los eléctricos.

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa consumida para producir un incremento de velocidad determinado mayor es el impulso específico del propelente. El impulso específico se puede definir como el empuje aplicado o producido por cada unidad de peso del propelente que se consume cada segundo. Es de esperarse que si se desea reducir el mínimo el peso tal del combustible almacenado en el satélite, para economizar en los costos de lanzamiento, es deseable utilizar propulsores que funcionen con combustible de impulso muy alto; para efectuar las correcciones de orientación y posición del satélite se requiere aplicar empujes de duración determinada hasta obtener el incremento de velocidad necesario en la dirección deseada.

El principio básico mediante el cual operan los propulsores químicos es la generación de gases a muy alta temperatura en el interior de una cámara mediante la reacción química de propelentes, y los gases se aceleran al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo poco a poco en su arrea transversal y después se ensancha. Los primeros sistemas de control a reacción utilizaban gases fríos como nitrógeno y peróxido de hidrógeno; si embargo, su impulso específico era muy bajo y muy pronto fueron sustituidos por la hidrazina monopropeleante, que en la actualidad goza de mucha popularidad. En este último tipo de propulsión, la *hidrazina* (N_2H_4) es inyectada donde se pone en contacto con un catalizador; como resultado, la primera se evapora y se descompone exotérmicamente en una mezcla de nitrógeno, hidrógeno y amoníaco, a temperaturas del orden de $300^\circ C$ y con un impulso específico de unos 225 segundos. El impulso específico se puede mejorar incrementando la temperatura de los gases mediante algún sistema de calentamiento resistivo, después de la descomposición catalítica, hasta unos $1900^\circ C$, y antes de que escapen por la tobera; de esta forma, el impulso específico aumenta hasta unos 300 segundos. Este importante incremento permite reducir la masa del propelente en el satélite antes de lanzarlo y colocarlo en órbita, pero a costa de un consumo mayor de energía eléctrica, pues hay que calentar la cámara de catalización.

En la actualidad existe cada vez la tendencia a utilizar sistemas *bipropelentes*, con los que no se emplea un catalizador, sino que dos propelentes distintos (un combustible y un oxidante) se ponen en contacto. Al unirse las dos sustancias, se produce una combustión instantánea sin necesidad de algún sistema de ignición; de estas sustancias, las más populares son la hidrazina monometilica (combustible) y

el tetroxido de nitrógeno (oxidante), que al combinarse producen un impulso específico del orden de 300 segundos. La ventaja o atractivo que ofrecen los propulsores bipropelentes es que permiten diseñar un sistema unificado de propulsión que a la vez sirva para colocar al satélite en su órbita definitiva tanto como para realizar las maniobras de corrección y orientación y posición durante todos sus años de vida, utilizando para ello los mismos tanques de almacenamiento de combustible. Esta versatilidad conlleva algunos ahorros en la masa total del satélite, al no ser ya necesario un subsistema de control a reacción independiente en combinación con un motor de apogeo de combustible sólido.

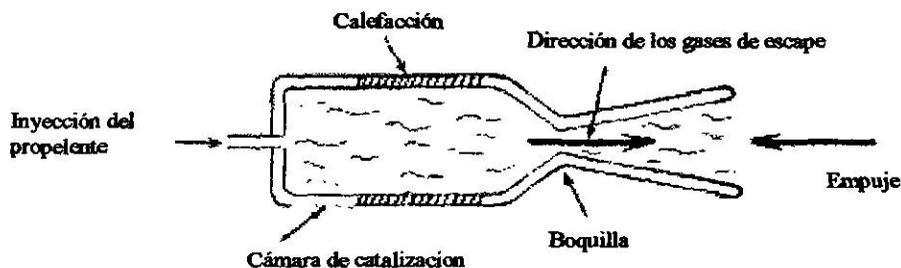


Figura 5.3 Cámara de catalización y boquilla de escape de un propulsor monopropelente.

En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, estos funcionan según el principio de generar un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético, pero aun se encuentran en su etapa de pruebas y desarrollo, siendo los mas estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y de cesio.

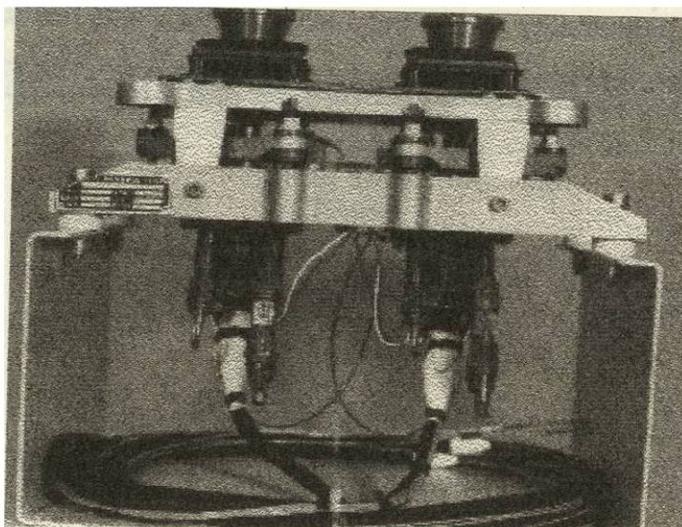


Figura 5.4 Ensamblado de uno de los propulsores de un satélite.

CAPITULO 6.

ASIGNACION DE FRECUENCIAS

6.1 FRECUENCIAS ASIGNADAS Y REUTILIZACION DE FRECUENCIAS

La capacidad de tráfico de un satélite esta limitada por dos factores: ancho de banda y potencia de los amplificadores. Por lo que respecta al ancho de banda, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha asignado para el servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku, y Ka, con frecuencias centrales aproximadas de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4 GHz, 8/7 GHz, 14/11 o 14/12 GHz y 30/20 GHz, respectivamente; dependiendo de la región, hay variaciones entre los límites superior e inferior de estas bandas. Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente han la actualidad, y hasta hace poco había solo 500 MHz de ancho de banda asignado a cada una de ellas, por lo que la mayor parte de los satélites que las utilizan operan con esa cantidad; sin embargo, ya se han asignado otras bandas adicionales muy cercanas, y el ancho de banda se a incrementado a 1,000 MHz. La banda X es empleada por satélites militares y gubernamentales. La banda Ka se encuentra aun en su etapa de experimentación, pero pronto se lanzaran los primeros satélites comerciales que la aprovechen; esta banda tiene un ancho de banda muy atractivo de 3,500 MHz, pero su principal desventaja es que cuando llueve sus niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en las bandas C y Ku. En la tabla 6.1 se proporciona un resumen de las frecuencias asignadas a cada una de estas bandas.

BANDA	ENLACE ASCENDENTE (GHz)	ENLACE DESCENDENTE (GHz)
C: 6/4 GHz	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 mhz)
	5.850 - 7.075 (1225MHz)	3.400 - 4.500 (1100 MHz)
X: 8/7 GHz	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)
	Ku: 14/11 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)
		12.750 - 13.750 (1000 MHz-
14/12 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
Ka: 30/20 GHz	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3500 MHz)

Como puede verse, el espectro radioeléctrico disponible es finito, y con el fin de aumentar la capacidad de cada satélite se han desarrollado dos métodos para utilizar las frecuencias casi por duplicado: reutilización con aislamiento espacial y con discriminación de polarización.

La reutilización de frecuencias con aislamiento espacial se realiza con un subsistema de antenas que produzca muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si algunos haces están lo suficientemente separados entre sí, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

La reutilización de frecuencias con discriminación de polarización se efectúa mediante la transmisión simultánea en un mismo haz, ala misma frecuencia, con señales de polarizaciones ortogonales; estas pueden ser lineales (horizontal y vertical) o circulares (derecha e izquierda). Muchos satélites comerciales operan con este tipo de reutilización de frecuencias.

CAPITULO 7

ACCESO MULTIPLE

Para que no ocurra ningún tipo de conflicto entre las señales que llegan simultáneamente al satélite, se establece un orden mediante una técnica de acceso múltiple, de la cual hay tres tipos; por división de frecuencia, por división de tiempo, y por diferenciación de código; de estos, el primero es el más común en la actualidad y se describe a continuación.

7.1 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN FRECUENCIA

Ya se ha visto que el ancho de banda total de 500 MHz de un satélite se divide en varios transpondedores, y que una forma usual de hacerlo es usando ranuras de 36 MHz. Esto significa que el amplificador de cada transpondedor puede darle cabida a gran diversidad de información que ocupe en total un ancho de banda de 36 MHz. Sin embargo, cada estación terrena no tiene necesariamente el suficiente tráfico para generar información que ocupe todo ese ancho de banda y que pueda enviar con una sola frecuencia portadora determinada. Considérese como ejemplo una gran ciudad, otra de tamaño medio y una población rural, y supóngase que las tres quieren hacer uso del satélite. Es razonable suponer que en la primera hay la mayor demanda de conversaciones telefónicas; en la segunda hay una demanda menor, y en la tercera aun menos. Por consiguiente, las señales que se generan a cada instante en cada población requieren distintos anchos de banda para que puedan transmitirse.

Podría ser que en la primera ciudad haya tanto tráfico telefónico de larga distancia que el bloque resultante al combinar todos los canales telefónicos y modularlos tenga un ancho de banda de 36 MHz, en cuyo caso ocuparía todo un transpondedor en el satélite. De ser así, solamente habría una sola frecuencia portadora presente en el amplificador de potencia correspondiente y no se produciría ruido de intermodulación; esto permitiría aprovechar al máximo la potencia de salida del amplificador. Pero en realidad, este es un caso muy especial, y es mucho más común tener agrupaciones de canales telefónicos que ocupan menos de 36 MHz de ancho de banda.

Regresando al ejemplo establecido, supóngase que la gran ciudad se designa por la letra A, la de tamaño medio por B, y la población rural por C. Es evidente que, si las tres transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con frecuencias portadoras diferentes para que no haya interferencia. Si la suma de los anchos de banda de las tres estaciones individualmente da un total cercano a los 36 MHz, entonces las tres ocuparán el mismo transpondedor simultáneamente, separadas por bandas de guarda, como se ilustra en la figura 7.1. Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas, estén o no situadas en la misma ciudad, recibe el nombre de acceso múltiple por división de frecuencia o FDMA, ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a cada una de ellas. La configuración es rígida e invariable, pues cada estación debe transmitir siempre en la misma frecuencia central o portadora, y es válida cuando se puede garantizar que, durante la mayor parte del tiempo, cada una de ellas ocupará activo ese ancho de banda que se le asignó; por esta razón, también se le llama acceso múltiple por división de frecuencia con asignación fija. Es claro que su utilización radica principalmente en sistemas comerciales de alta capacidad.

Sin embargo, ¿qué sucede cuando el tráfico generado en los puntos geográficos que comparten un transpondedor es intermitente o esporádico? Evidentemente, la capacidad de este transpondedor no se estaría aprovechando con eficiencia si se emplease la técnica anterior, y en este caso se requiere utilizar otra versión de acceso múltiple que brinde mayor flexibilidad; la alternativa se denomina acceso múltiple por división de frecuencia con asignación por demanda o DAMA.

La técnica de acceso múltiple DAMA permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para establecer comunicación; en el momento en que alguna deje de transmitir, esta ranura se libera y esta disponible para cualquier otra de las estaciones del sistema que la solicite temporalmente. Cuando minutos u horas

después, la estación terrena que libero una ranura quiera transmitir mas información, podría darse el caso de que la ranura de frecuencia que uso previamente dentro del amplificador este ocupada en ese instante por la señal de otra estación; pero puede haber otras ranuras disponibles en ese momento, y de ser este el caso, la estación terrena en cuestión podrá utilizar cualquiera de ellas. Es decir, la frecuencia de la portadora transmitida por cada estación terrena cambia en el tiempo, moviéndose de lugar en el espectro radioelectrico del amplificador y, por supuesto, la estación debe estar debida mente equipada para hacerlo.

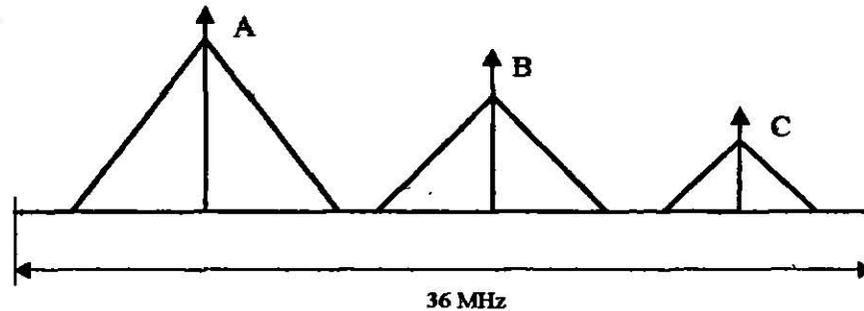


Figura 7.1 Ocupación de un transpondedor de 36 MHz con acceso múltiple por división de frecuencia; cada señal proviene de una población diferente y tiene su propia frecuencia portadora.

Desde luego que la ocupación de cualquier ranura vacía no se puede hacer en forma arbitraria, sino a través de una estación central que coordina el banco de frecuencias disponibles. Cada vez que una estación terrena desee iniciar una transmisión, debe solicitarle antes al banco de frecuencias que le asigne una de ellas para su portadora; este mismo banco de frecuencias se comunica con el punto destino para informarle que se le va a transmitir y en que frecuencia debe sintonizarse para recibir la señal; solamente hasta que la estación transmisora y receptora hayan recibido la asignación de sus frecuencias de operación, se puede iniciar el enlace.

En la actualidad existen muchos sistemas funcionando con asignación por demanda; uno de ellos es el denominado SPADE (Acceso múltiple con asignación por demanda, con canal único por portadora modulado en PCM), usado por INTELSAT para darle servicio telefónico a paises que tienen poco trafico entre si, pero que propuesto necesitan comunicarse ocasionalmente. El SPADE es un sistema DAMA internacional con algunas adaptaciones; consiste en un transpondedor de 36 MHz rasurado en 800 secciones capaces de conducir simultáneamente 400 conversaciones telefónicas (400 ranuras para canales de ida y 400 para el regreso); cada una de las ranuras tiene su propia frecuencia portadora y se puede utilizar temporal e indistintamente por cualquiera de los paises que integran el sistema, sincronizándose con el banco integral de frecuencias mediante un canal digital de solicitudes.

Como el sistema SPADE cada ranura tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un solo canal telefónico modulado, esta forma de transmisión se llama canal único por portadora o SCPC, y aun cuando en este caso la asignación es por demanda, es fácil comprender que puede haber algunos sistemas domésticos o internacionales con SCPC pero con asignación fija. Asimismo, e independientemente de si se tenga asignación fija o por demanda, un canal SCPC no necesariamente debe conducir telefonía analógica, sino que puede contener un canal telefónico digitalizado o un canal de datos a baja velocidad transmitido con modulación digital, de la cual hay varias opciones utilizadas a la vez en la practica.

Existen muchas variantes en cuanto a la forma de ramurar en frecuencia un transpondedor y accederlo desde varias estaciones terrenas. Como norma general, SCPC con asignación por demanda se utiliza para comunicar puntos con trafico ocasional, como zonas rurales o de poco trafico entre si. Para enlazar puntos que generan trafico permanentemente se emplea la asignación fija, y esta puede ser SCPC (cuando el trafico es poco pero constante) o bien de portadora multicanal o MCPC. Una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinados en forma adecuada, y la ranura de frecuencias necesaria para ubicarla es angosta o muy ancha, dependiendo del numero total de canales que contenga; estos pueden ser analógicos o digitales, con multiplexaje en frecuencia o en tiempo, respectivamente. Por ejemplo, puede haber portadoras multicanal con 12 canales telefónicos cada una, otras con 24, 36, 48,...., y así sucesivamente, dependiendo del trafico de cada estación terrena transmisora.

Como puede verse, el tema de acceso múltiple por división de frecuencia es muy interesante pero sumamente amplio.

7.2 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO.

El acceso múltiple por división de tiempo o TDMA es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas ocupan un transpondedor o parte de él. A diferencia del acceso múltiple por división de frecuencia, en donde cada estación transmisora tiene asignada una ranura de frecuencias dentro del transpondedor, normalmente con un ancho de banda diferente, en esta nueva técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura de frecuencias, con cierto ancho de banda fijo, y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo; es decir, cada estación tiene asignado un tiempo T para transmitir lo que guste dentro de la ranura, y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno.

El tiempo T asignado a cada estación no necesariamente es igual para todos los casos, puesto que algunas estaciones conducen más tráfico que otras y, por lo tanto, la ranura de tiempo que se les asigne deberá de ser más larga que la de las estaciones chicas. Estos tiempos pueden ser fijos por estación, en cuyo caso se tiene acceso múltiple por división de tiempo con asignación fija, o bien puede variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exceso de tráfico. En estas condiciones, es preciso reorganizar la distribución de los tiempos con una nueva estructura de marco o trama de transmisión, dándole ranuras de tiempo más largas a las estaciones con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de menor tráfico; la nueva estructura de marco se repite secuencialmente hasta que haya necesidad de hacer otro cambio. Hay varios métodos para cambiar los marcos de transmisión según la demanda, pero la más común es mediante un programa establecido con base en las estadísticas de tráfico.

En cualquiera de los casos anteriores, la duración usual de un marco o ciclo es de unos cuantos milisegundos y se requiere contar con un mecanismo confiable de sincronización, para que no haya traslapes entre las transmisiones de las diversas estaciones. Un sistema TDMA es más complejo que un FDMA y necesita una buena coordinación entre todas las estaciones terrenas de la red que lo usan y una estación de referencia; además, como las estaciones transmiten en forma de ráfaga a intervalos con una pequeña fracción de milisegundos, deben contar con módulos de almacenamiento de información digital, que funcionan como memorias de amortiguamiento y que van liberando la información por paquetes en cada ráfaga. Una de las grandes ventajas de esta técnica es que durante cada ranura de tiempo se pueden transmitir en forma multiplexada digitalmente, y por paquetes, porciones de canales telefónicos, de datos y hasta de vídeo sobre la misma portadora de ráfaga.

La modalidad de TDMA que se utiliza más en la práctica es la de ocupación del transpondedor completo por la portadora modulada; como solo hay una portadora presente en cada instante dentro del amplificador de potencia del transpondedor, no hay ruido de intermodulación y se puede aprovechar al máximo la potencia de salida, beneficiándose de esta forma todas las estaciones terrenas que lo utilizan. Sin embargo, en varias situaciones, el tráfico manejado por una red de estaciones no es tan grande como para justificar la ocupación total de un transpondedor, sino solamente una fracción de él; en esos casos se comparte el ancho de banda del transpondedor en FDMA con los servicios prestados por otras estaciones independiente de la red TDMA, por ejemplo, vídeo y telefonía SCPC (figura 7.3), sin perderse la flexibilidad que brinda el sistema TDMA totalmente digitalizado. Por supuesto, si se utiliza esta última configuración, ya no es posible trabajar en saturación para aprovechar al máximo la potencia de salida del transpondedor, por que el amplificador se debe operar con una reducción con respecto a la saturación para que el ruido de intermodulación sea bajo.

La técnica TDMA, al igual que la FDMA, no es más que una forma mediante la cual las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de él. Independientemente del tipo de acceso que se utilice, es necesario que los canales de vídeo, voz y datos que se van a transmitir pasen por varias etapas de procesamiento a partir de su estado de banda base, principalmente las etapas de multiplexaje y modulación, de las cuales hay una gran diversidad. Por ejemplo, un enlace FDM/FM/FDMA significa que en la estación terrena transmisora primero se multiplexan o combinan en frecuencia varios canales originalmente en banda base (FDM), después el resultado modula en frecuencia una portadora (FM), y posteriormente esta accesa al transpondedor del satélite (FDMA); en el punto receptor o destinatario se

tiene que efectuar el proceso inverso para recuperar la información en su forma original o banda base, es decir, demodular en frecuencia y después demultiplexar en frecuencia. Otro ejemplo sería un enlace TDM/QPSK/TDMA, en el que primero se multiplexan en el tiempo varios canales digitales (TDM), después el resultado se modula digitalmente con desplazamiento de fase en cuadratura con la portadora (QPSK), y por último esta accesa al transpondedor (TDMA).

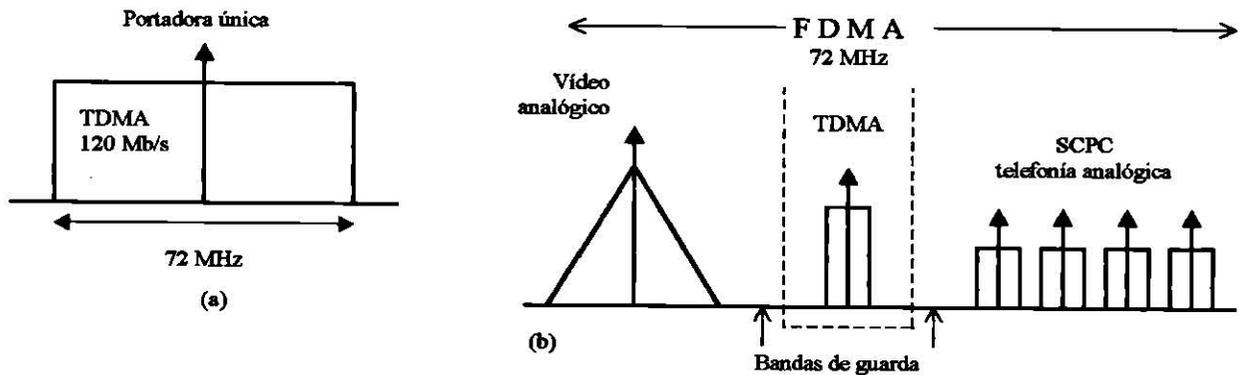


Figura 7.3 Configuraciones de ocupación de un transpondedor de 72 MHz con TDMA; (a) ocupación completa; (b) ocupación parcial, TDMA de banda angosta compartida con otros servicios FDMA.

7.3 ACCESO MULTIPLE POR DIFERENCIACIÓN DE CODIGO.

Además de las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en los satélites comerciales de comunicaciones, existe una tercera alternativa en la que un transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esta técnica, denominada acceso múltiple por diferenciación de código o CDMA, y que aparentemente resulta imposible, es particularmente útil en transmisores confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia; al igual que TDMA, es totalmente digital, y presenta la ventaja que las antenas terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias bajas y sus haces de radiación muy amplios. Por otra parte, presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda (un transpondedor completo), pues cada bit de información como los que se transmiten en modalidad TDMA se transforma en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente.

En las estaciones terrenas que operan con la técnica de acceso CDMA. Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de información; de las estaciones terrenas receptoras, solo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original, aunque llegue superpuesto con todos los demás mensajes que se transmitieron simultáneamente, pues estos últimos solo los detecta como "ruido" tolerable. En virtud de que este ancho de banda que utiliza este sistema de CDMA es muy amplio, por la expansión del espectro de frecuencia de la señal al codificar cada bit de información en un nuevo tren de bits, también se le denomina acceso múltiple con espectro expandido o SSMA.

7.4 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN EL TIEMPO CON CONMUTACION EN EL SATELITE.

En las tres secciones anteriores se han visto en orden utilización las técnicas de acceso múltiple mas comunes en los sistemas actuales de comunicaciones por satélite. En cualquiera de los tres casos, el satélite simplemente cambia la frecuencia de las señales y las amplifica, sin importar su contenido, es decir si son analógicas o digitales, o con que técnica fueron multiplexadas o moduladas; el satélite es solo un repetidor en el espacio y es totalmente factible que varios de sus transpondedores funcionen con acceso múltiple FDMA o TDMA o una combinación simultánea de ambos, y que otros operen con acceso CDMA.

Sin embargo, los satélites mas modernos se están construyendo con varias antenas de haz pincel, diseñadas para cubrir diferentes zonas geográficas con muy alta densidad de potencia; cada haz esta asociado con ciertos transmisores y receptores y es posible conmutar parte de la información de un haz a

otro mediante una matriz de microondas. Este versátil y novedoso sistema es digital, con acceso múltiple TDMA; se denomina **acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite o SS/TDMA**. Los satélites Intelsat VI e Italsat entre otros, utilizan esta técnica moderna de SS/TDMA, la cual incrementa significativamente la eficiencia de un sistema, puesto que se logra la cobertura total de un gran territorio dividido en zonas con haces de potencia altamente concentrada, en vez de hacerlo con un solo haz común de baja densidad de potencia por unidad de área.

CAPITULO 8

EL SATELITE Y SU FUNCIONAMIENTO

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla puede causar su inutilidad parcial o total. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular temperatura, ser resistente al medio ambiente en que vive, y desde luego poder comunicarse con la tierra; sus subsistemas mas importantes se muestran a continuación.

SUBSISTEMA	FUNCION
1 Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia
2 Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia
3 Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente (capitulo 5)
4 Control térmico	Regular la temperatura del satélite
5 Posición y orientación	Determinar la posición y orientación del satélite
6 Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y orientación (capitulo 5)
7 Rastreo, telemetría y comando	Intercambiar información con el centro de control en tierra para conservar el funcionamiento del satélite

8.1 SUBSISTEMA DE ANTENAS.

Las antenas reciben señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite, las retransmiten de regreso hacia la tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas a las que transmiten, pero también es posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación diferentes. Los elementos de alimentación llamados alimentadores, son generalmente antenas de corneta conectadas a guías de onda, que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de esto ultimo para entregársela a los equipos receptores. En la sección de las antenas de las estaciones terrenas, se amplía un poco mas al respecto, pues su principio de operación es similar al de las antenas de los satélites. Es fácil comprender que si el subsistema de antenas tuviese alguna falla, por ejemplo, si no estuviese bien orientado hacia la superficie de la Tierra debido a algún desperfecto en su mecanismo, entonces no seria factible transmitir correctamente desde el satélite ni recibir las señales provenientes de las estaciones terrenas.

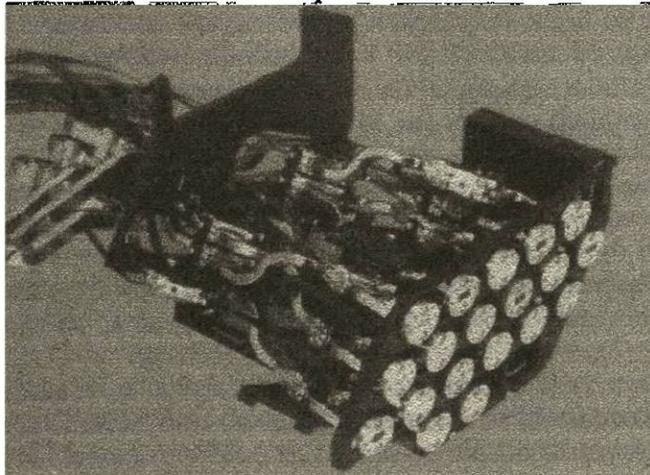


Figura 8.1 Vista de un arreglo de alimentación de microondas; con este arreglo, la antena podrá radiar varios haces a la misma frecuencia, dirigidos hacia distintas zonas geográficas.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de entrada y salida de ese mundo electrónico que es el interior del satélite; son la interfase o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de varios de sus subsistemas. Las hay de distintos tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que tengan que trabajar y la cobertura que deban tener de ciertas zonas geográficas de la tierra.

Paradójicamente, una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, que opere a la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica mas pequeña. Algo debe obtenerse de una antena grande a cambio de cubrir unos cuantos metros cuadrados sobre la superficie terrestre; ¿para que gastar en tanto material y tener que vencer complicaciones de volumen y peso en el sistema de lanzamiento que lleve al satélite al espacio? La razón es sencilla: cuanto mas grandes son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. Por otra parte, cuanto mas alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía; esta es una característica propia de las antenas parabólicas y, en general, de todas las antenas llamadas "de apertura", cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto es función directa de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

La dimensión eléctrica de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda de la frecuencia de operación, o sea, es el numero de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca.

Hay satélites que tienen varias antenas de características diferentes, con finalidades diferentes. Y las zonas mas pequeñas son cubiertas por antenas de cobertura puntual, que reciben este nombre precisamente por que concentran su potencia casi en un punto, en relación con las dimensiones del planeta; los haces de iluminación de estas antenas, por ser tan angostos, reciben el nombre de haces puntuales o pincel. De esta manera la cobertura de cada haz se denomina huella de iluminación, y esta limitada por un contorno muy irregular. La irregularidad de estos contornos esta hecha a propósito por los diseñados de las antenas del satélite, aun que es mucho mas sencillo construir una antena cuya huella de iluminación sea un circulo o una elipse; de esta forma no se desperdicia potencia transmitiéndola a puntos geográficos en los que no hay trafico o estaciones terrenas transmisoras y receptoras, y en cambio se aprovecha mejor concentrándola para que ilumine solo los lugares importantes en los que si hay densidades importantes de población, equipos y gran demanda de servicios de comunicación. Como las huellas de iluminación tienen ciertos contornos, al haz que irradia cada una de estas antenas también se le llama haz de contorno, independientemente de la extensión territorial que abarque. La huella de iluminación es la intersección del haz radiado por la antena con la superficie de la Tierra.

Hasta ahora solo se ha hecho referencia a las antenas del satélite cuya función es intercomunicar distintos puntos geográficos, es decir, recibir y retransmitir señales de conversaciones telefónicas, programas de televisión o información digital de empresas, bancos, etc.; pero existe otro tipo de antenas muy importante, que no tiene nada que ver con la transmisión y recepción de las señales anteriores. Se trata de la antena de telemetría y comando, encargada de recibir señales que contienen ordenes emitidas por el centro de control de la Tierra, para que se efectúe alguna corrección a bordo; también es responsable de enviarle al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación del satélite, con el fin de que en la tierra se pueda saber que ocurre en su interior, donde esta y como esta funcionando en general; de esta manera, sus propietarios u operadores pueden realizar las modificaciones necesarias enviando las señales de comando que, como ya se dijo, son recibidas en la misma antena.

La antena de telemetría y comando no es parabólica ni de corneta, pues estas ultimas son altamente direccionales; normalmente es una antena biconica, cuya radiación es casi omnidireccional, es decir, que emite mas o menos con la misma intensidad en todas direcciones; de esta forma, aun cuando el satélite cambie bruscamente de orientación, su comunicación con el centro de control no se interrumpe y se sigue teniendo control sobre el mismo.

8.2 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas por el satélite entran a él a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la Tierra, después de procesarla debidamente. Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que están llegando simultáneamente. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

El diagrama de la figura 8.2 muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. Para mayor sencillez, en el solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones; es normal que algunos de estos equipos se instalen repetidos, o sea, que sean redundantes, para que en el dado caso de que alguno de ellos falle, exista aun la forma de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de transmisión y recepción; para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la entrada de la antena receptora y la salida de la antena transmisora se le da el nombre de transponder, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite. En realidad, cada cadena es mas compleja de lo que se muestra en el diagrama, además de que puede haber ligeras variantes en las etapas de amplificación y conversión de frecuencia, pero lo que se ha incluido es suficiente para explicar cual es su función. Este subsistema, incluyendo el de las antenas, es el de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidad es planificar el uso del satélite, es decir, asignar las trayectorias o transpondedores en los que deben ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia, así como el espacio que deban ocupar dentro de cada amplificador.

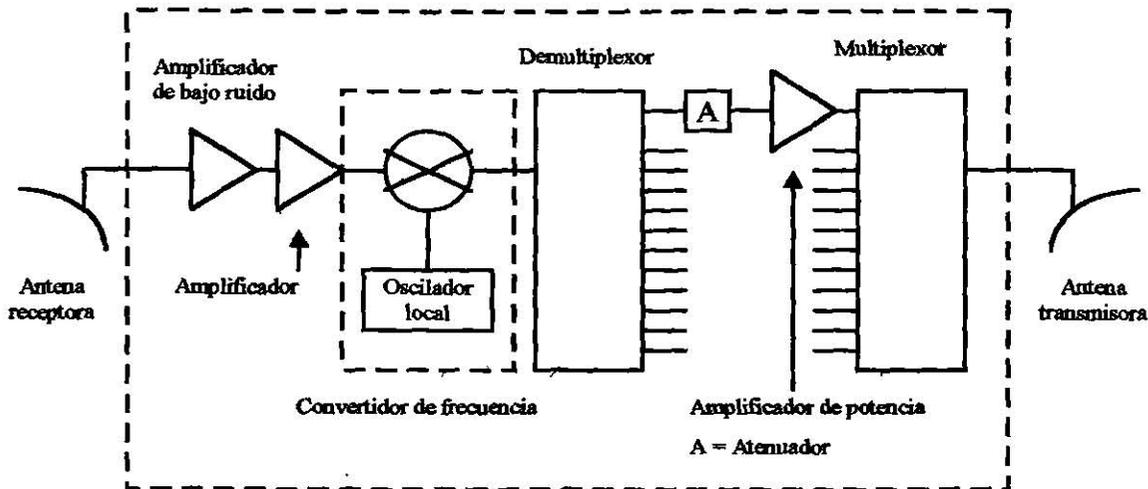


Figura 8.2 Aquí se muestra el circuito hipotético de referencia de el subsistema de comunicaciones del satélite.

La señal proveniente de la Tierra que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, o miles de canales telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencias diferentes; al rango de frecuencias que hay entre las frecuencias mas baja y la mas alta de las que se transmiten se le da el nombre de ancho de banda. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo, este será mas capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias; por ejemplo, si se trata de un equipo de recepción, puede recibir con la misma calidad mas canales de televisión, telefonía o datos que otro cuyo ancho de banda de operación sea menor.

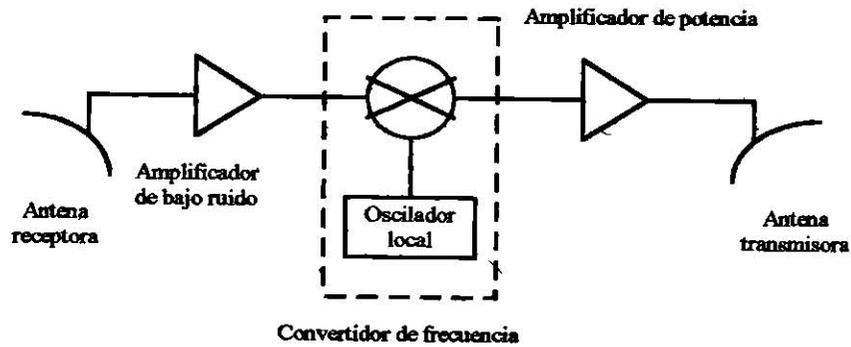


Figura 8.3 Circuito hipotético de referencia de un solo transponder del satélite (simplificado).

Un satélite puede tener varias antenas receptoras o quizá solamente una, capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales de información, que posteriormente serán amplificados por separado en distintos transpondedores. Es decir, las antenas receptoras, y lo mismo se aplica a las antenas transmisoras, tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funcionan en las bandas C y Ku. En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación es de 500 MHz para transmisión y 500 MHz para recepción. Existen satélites denominados híbridos, que tienen los equipos necesarios para trabajar tanto en la banda C como en la Ku, con lo cual se duplica la capacidad en el número de canales que puede manejar el sistema al mismo tiempo.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra al satélite están entre 5.925 y 6.425 GHz. La antena receptora del satélite detecta todas esas frecuencias, pues su ancho de banda de recepción es igual o mayor a 500 MHz, con una frecuencia central de 6.175 GHz. Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites superior e inferior, respectivamente, son 3.7 y 4.2 GHz; posteriormente, todas las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la Tierra. Un enlace de este tipo se representa con la nomenclatura 6/4 GHz, indicando que la frecuencia de las señales que suben están cercanas a 6 GHz y que bajan con frecuencias cercanas a los 4 GHz. En la banda Ku, el proceso de recepción, conversión de frecuencias y transmisión es similar a la banda C, solo que las frecuencias de la Tierra al satélite son de 14.0 y 14.5 GHz, con una frecuencia central de 14.25 GHz, y las frecuencias satélite - Tierra están entre 11.7 y 12.2 GHz; en este caso el enlace se representa con la nomenclatura 14/12 GHz.

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

Consideremos ahora una trayectoria completa del subsistema de comunicaciones de la figura 8.2, desde que la señal entra al satélite hasta que sale de él, suponiendo que se está transmitiendo un canal de televisión en la banda C y en el transponder número 4. ¿Cómo se numeran los transpondedores? Recuérdese que el ancho de banda de un satélite es de 500 MHz en total. Cuando un canal de televisión se transmite por satélite, al modularlo en frecuencia ocupa solo 36 de los 500 MHz disponibles, y técnicamente esa ocupación puede hacerse en cualquier parte dentro de ese rango. Por conveniencia, el ancho de banda de 500 MHz se divide en espacios o ranuras, cuyo número depende de la aplicación del satélite.

En la figura 8.4 se muestra la división usual del ancho de banda de un satélite en 12 ranuras o espacios iguales de 36 MHz de ancho de banda cada uno. Los espacios libres entre ranuras adyacentes se dejan para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada una contiene. Cada ranura puede trabajar con un canal de televisión independiente, por lo que la capacidad total del satélite en esta

banda C de operación sería igual a 12 canales de televisión. También sería posible que en cada ranura cupiesen 2 canales de televisión o cientos canales telefónicos y de datos. De acuerdo con la figura 8.3, la frecuencia central del transpondedor número 4 es de 6.085 GHz; o sea, que esta es la frecuencia central con la que se estaría enviando el canal de televisión de la tierra al satélite.

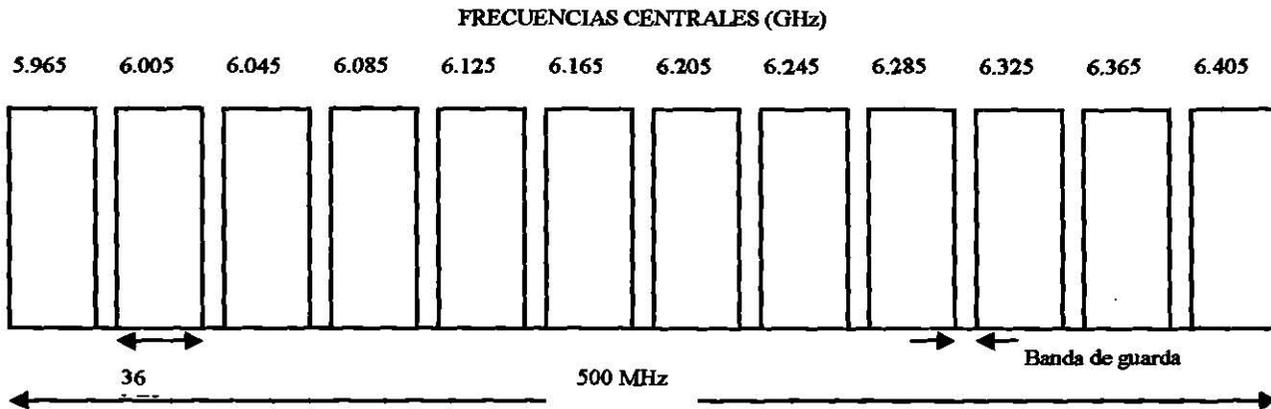


Figura 8.4 Ancho de banda de un canal que opera en banda C, divididos en ranuras de 36 MHz cada una. Las frecuencias que se utilizan son las del enlace de la Tierra al satélite.

Ahora bien, recuérdese que la antena del satélite no capta solamente las frecuencias que corresponden al rango del transpondedor número 4, sino todas las frecuencias de los 12 transpondedores. Es decir, por ella entran diferentes tipos de señales al mismo tiempo, que bien podrían ser en un momento dado seis o siete canales de televisión, miles de canales telefónicos y algunos canales de datos. Para la antena esto no representa ninguna dificultad, pero no es fácil construir aparatos de alta potencia que realicen funciones de amplificación óptimamente con todas esas señales al mismo tiempo. Por tanto, es necesario aislarlas, para procesarlas y amplificarlas por separado, y esta es una de las razones por las que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores; después del proceso, todas las señales se vuelven a juntar o agrupar, para que la antena transmisora las envíe hacia la tierra.

Tal como se muestra en la figura 8.2, el primer dispositivo electrónico importante que se encuentran las señales recibidas por la antena es un *amplificador de bajo ruido*, que generalmente esta constituido por transistores de efecto de campo de arsénio de galio *GaAsFET*, con poca potencia de salida; este aparato genera internamente muy poco ruido, que se suma a las señales originales que entran a el. Todos los dispositivos electrónicos generan ruido, principalmente por su calentamiento; este termino se emplea para identificar las señales nuevas, de diversas frecuencias, que son generadas interna e indeseablemente por el aparato. Si estas nuevas señales ajenas a la señal original, son muy grandes e intensas, entonces al sumarse con la segunda pueden alterar su contenido. La primer etapa de amplificación es muy importante, por que cualquier señal recibida por el satélite es muy débil; después de haber recorrido 36,000 km, procedente de la superficie de la Tierra, su nivel de potencia de llegada al satélite es muy bajo. Por esta razón, es muy importante que el ruido generado por este dispositivo de amplificación común sea lo mas bajo posible, y de ninguna manera comparable en magnitud a ninguna de las débiles señales que esta entrando a el. En el siguiente capítulo se vera que las estaciones terrenas receptores también llevan un amplificador de bajo ruido inmediatamente después de la antena, por razones similares, ya que las señales también se atenúan mucho durante su recorrido de regreso a la Tierra.

El amplificador de bajo ruido tiene un ancho de banda muy grande, de 500 MHz, pues debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena, antes de que se proceda a separarlas entre si, por medio de filtros, para realizar las siguientes etapas del proceso que se lleva acabo en el subsistema de comunicaciones. Es un dispositivo clave, de cuyo correcto funcionamiento depende que la información siga fluyendo o no dentro de el satélite, y por lo tanto se debe contar con un duplicado; es decir, el amplificador de bajo ruido es un sistema redundante, de tal manera que si uno de los amplificadores se descompone, mediante un conmutador se transfiere la señal a otro que si este en buenas condiciones. Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente, puesto que muy poca potencia de ruido se les ha sumado, continuaran su viaje a lo largo del transpondedor; en las etapas

siguientes de amplificación se les seguirá sumando un poco mas ruido, pero su efecto no ya será tan problemático como hubiese podido serlo en la primera etapa de amplificación, por que ahora están vigorizadas con un nivel de potencia tal que las hace menos vulnerables.

Hasta este momento, lo único que se ha hecho es aumentar ligeramente el nivel de potencia de las señales. Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como *convertidor de frecuencia*, que no es mas que un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las que entraron, por lo que respecta a su contenido, pero han sido desplazadas a frecuencias mas bajas en el espectro radioeléctrico. Después de amplificar y cambiar la frecuencia de las señales, el siguiente paso es separarlos en grupos o bloques; cada uno puede tener un solo canal de televisión o dos, cientos de canales telefónicos, un paquete de información digital de alta velocidad, o alguna otra variante. La separación se realiza con un *demultiplexor* como el de la figura 8.2, que tiene un solo conducto de entrada y varios de salida. A el entra la información completa de los 500 MHz de ancho de banda, y en su interior mediante filtros se separan los canales en bloques de 36 MHz cada uno. A continuación, cada bloque pasa por una etapa muy fuerte de amplificación, por un *amplificador de potencia*, que generalmente es un tubo de ondas progresivas o de semiconductores de microondas, y después todos los bloques son reunidos nuevamente en un solo conjunto de 500 MHz de ancho de banda, a través de un *multiplexor*, conectado a la antena transmisora del satélite tal como se indica.

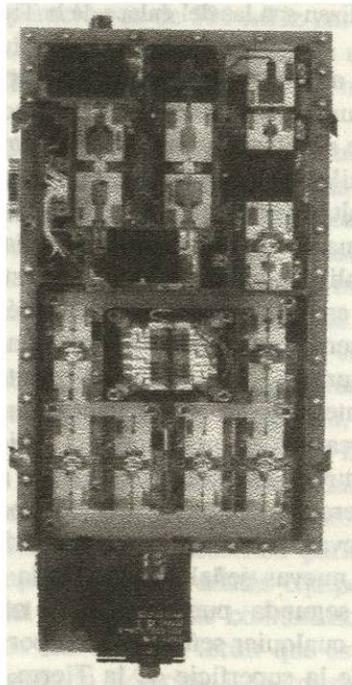


Figura 8.5 Amplificador de potencia de estado sólido, con potencia máxima de salida de 8.5 Watts.

En la misma figura 8.2 se observa que después de cada salida del demultiplexor hay un *atenuador* o resistencia variable; esta sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia, o la primera etapa de amplificación si hay mas de una. La regulación de la intensidad de entrada permite al amplificador operar en distintas condiciones o puntos de trabajo, es decir, se puede controlar la cantidad de potencia que salga de el, como sucede con un aparato de radio casero al que se sube o baja el volumen girando una perilla. Sin embargo, si se toma en cuenta que la potencia de las señales transmitidas llega al satélite muy baja, y que este tiene una capacidad limitada de amplificación, aparentemente no es lógico atenuarlas antes de amplificarlas.

Cuando los amplificadores de potencia del satélite entregan a su salida el máximo de potencia posible, se dice que están operando en su punto de saturación; para que esto ocurra, la potencia total de las señales que entran a ellos debe tener un valor determinado (véase figura 8.6). Sin embargo, no siempre es

necesariamente deseable obtener a la salida de un amplificador de potencia la máxima posible, es decir, operarlo en saturación, pues como se explica mas adelante, todo depende de la clase de información que contenga el bloque que se va amplificar; por ejemplo, si contiene solamente un canal de televisión, o dos canales de televisión, o varias señales de telefonía multicanal (cada una de ellas compuesta por decenas o cientos de canales telefónicos), o cualquier otra combinación. Por otra parte, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mayores resultados en la primera etapa de amplificación (amplificador de bajo ruido), ya que la relación de la potencia de la señal amplificada y la potencia de la señal de ruido térmico generado internamente es mayor, y como la calidad con la que finalmente la señal se recupera en la Tierra depende, entre otros parámetros, de esta relación de potencias, se obtiene entonces una mejor fidelidad. Sin embargo, el alto nivel de las señales amplificadas en esta primera etapa, que se convierte en la entrada a los amplificadores de potencia, en general puede ser demasiado; en estas circunstancias, conviene reducir el nivel de las señales con el atenuador variable (compuesto por varios atenuadores fijos en serie) antes de alimentar a cada amplificador de potencia.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada portadora; por ejemplo, un canal de televisión tiene su propia frecuencia portadora, y la combinación de 60 canales telefónicos en un solo grupo también tienen la suya. La misma técnica se utiliza cuando los canales telefónicos no se agrupan, sino que se envían en forma aislada, uno a uno; en este caso, cada canal telefónico tiene asignada una frecuencia portadora distinta. De igual forma, un canal digital que contenga datos, sin importar si es de alta o baja velocidad, requiere tener su propia frecuencia portadora. En la figura 8.5 se muestra un ejemplo usual de lo que podría tener un transpondedor de 36 MHz de ancho de banda, en donde el espacio de frecuencias disponibles es ocupado por cuatro señales similares en amplitud y ancho de banda, con su propia frecuencia portadora; cada señal contiene 192 canales telefónicos agrupados y proviene de una ciudad distinta.

Para el ejemplo anterior, el número de frecuencias portadoras que entrarían al amplificador de potencia sería mayor que uno e igual a cuatro, y como la curva característica entrada - salida es alineal (figura 8.6), se producirían internamente muchas señales adicionales e indeseables que a la salida se sumarían a la señal original, distorsionándola. Estas señales indeseables se denominan en conjunto ruido de intermodulación, y su intensidad es cada vez mayor, y mas dañina, conforme se trata de obtener mas y mas potencia a la salida del amplificador, hasta llegar quizá a la máxima posible, correspondiente al punto de saturación. Por esta razón, es preciso operar el amplificador de potencia en un punto de trabajo inferior al de saturación, para reducir así el ruido de intermodulación y su efecto sobre la información original. Aunque para ello se tenga que sacrificar potencia a la salida. Los atenuadores o resistencias variables descritos anteriormente permiten regular la intensidad de las portadoras y entregar menos o mas potencia a la entrada del amplificador, para que a su vez salga de el menos o mas amplificación de potencia, con un nivel aceptable de ruido de intermodulación (figura 8.6). En la figura 8.7 se muestra la fotografía de un amplificador de potencia de estado sólido.

Siempre que haya mas de una portadora presente al mismo tiempo en el amplificador de potencia, se produce ruido de intermodulación y cuanto mayor sea su número, mayor es el ruido y el efecto sobre la información original; por lo tanto, mientras mas portadoras se quieran amplificar con el mismo dispositivo al mismo tiempo, será preciso operar en un punto cada vez mas bajo del de saturación, y será menor cantidad de potencia que se pueda aprovechar a la salida. Este problema del ruido de intermodulación también se tiene en los amplificadores de potencia de las estaciones terrenas transmisoras, como se comentara mas adelante.

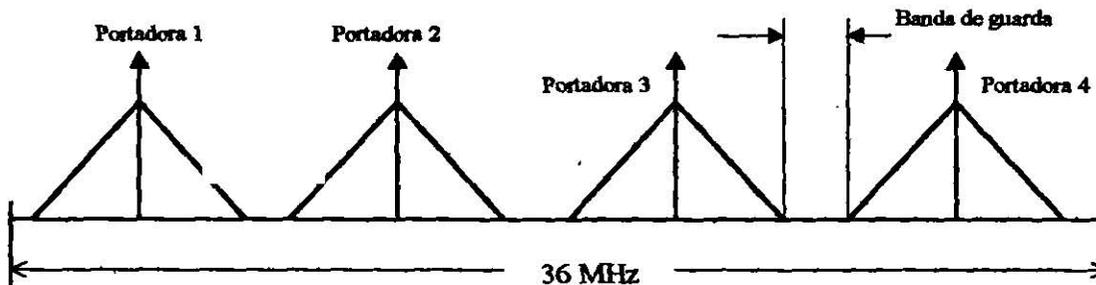


Figura 8.5 Esta sería la posible configuración de la ocupación del espacio de frecuencias de un transpondedor de 36 MHz.

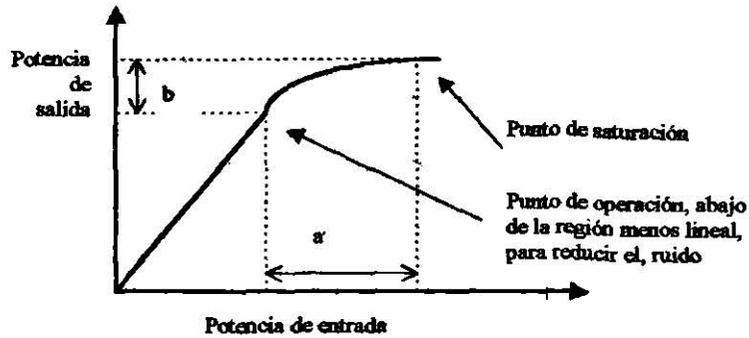


Figura 8.6 Curva característica alineal de entrada salida de un amplificador de potencia; *a* es la reducción necesaria de la potencia de entrada respecto al valor que satura al amplificador, para poder trabajar en el punto de operación, y *b* es reducción que se obtiene en la potencia de salida respecto a la potencia máxima que se obtendría en saturación.

El diagrama de bloques de la figura 8.2 es muy básico, y puede haber distintas versiones, con ligeras modificaciones como las que se muestran en las figuras 8.8. En ella se puede observar que no hay solamente un demultiplexor, sino dos de cada uno, con una capacidad igual a la mitad de la que tienen los de la figura 8.2. La potencia de la señal combinada de 500 MHz de ancho de banda que sale del convertidor de frecuencia se divide en dos y cada parte resultante entra a uno de los demultiplexores; por medio de filtros, el multiplexor 1 solo permite el paso de los canales impares y el demultiplexor 2 solo a los pares; cada uno de estos canales pares o impares tiene un ancho de banda de estándar de 36 MHz, aunque también puede haber otras variantes, dependiendo nuevamente del tipo y uso del satélite.

Los canales impares que pasan por el demultiplexor 1 serían los bloques de información contenidos en las ranuras 1, 3, 5, 7, 9 y 11 de la figura 8.4, y los que pasan por el número 2 serían los que contengan la información de las ranuras 2, 4, 6, 8, 10 y 12 indicadas en la misma figura. Este tipo de separación de canales ofrece una importante ventaja con respecto al uso de un solo demultiplexor, ya que la banda de guarda entre los nuevos canales adyacentes se incrementa y por lo tanto se reduce la posibilidad de interferencia entre ellos durante la etapa de alta amplificación. Después de que cada uno de los canales de 36 MHz han sido amplificados por separado, con su correspondiente reducción de potencia a la salida respecto a la saturación, según el caso, los canales impares se vuelven a juntar mediante el multiplexor 1, que tiene 6 entradas y una salida, los canales pares son tratados igualmente por el multiplexor 2, como se ve en la figura 8.8; posteriormente, los dos grupos pasan por un sumador de potencias, y el conjunto, ya de nuevo con un ancho de banda de 500 MHz, entran a la antena transmisora.

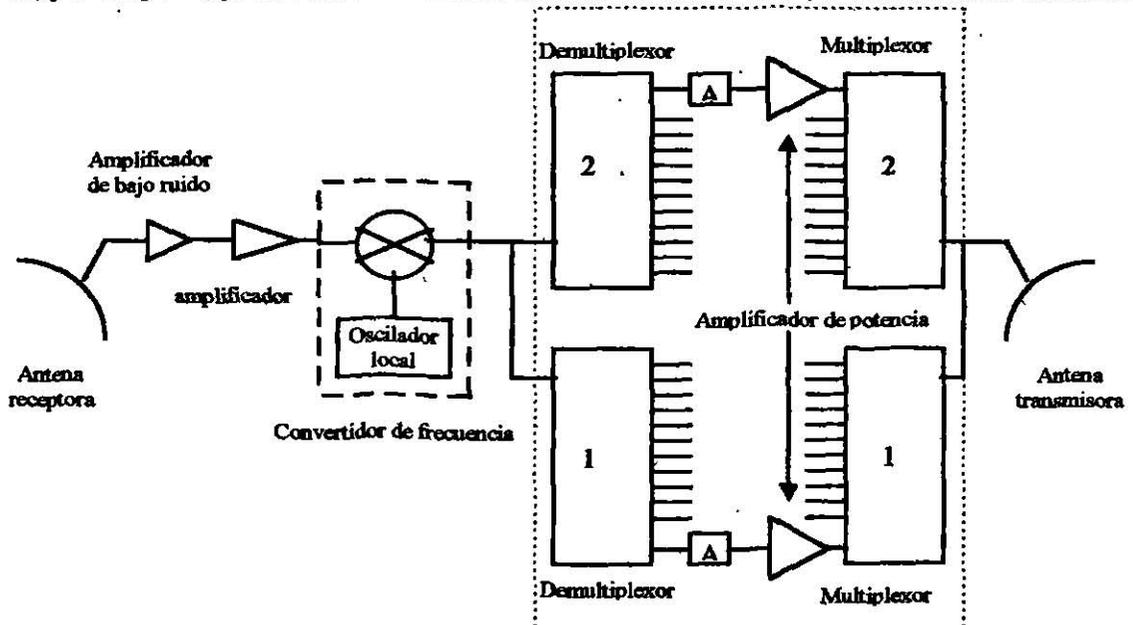


Figura 8.8 Versión modificada del diagrama de equipos del subsistema de comunicaciones. A diferencia del indicado en la figura anterior se utilizan dos demultiplexores y dos multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la interferencia.

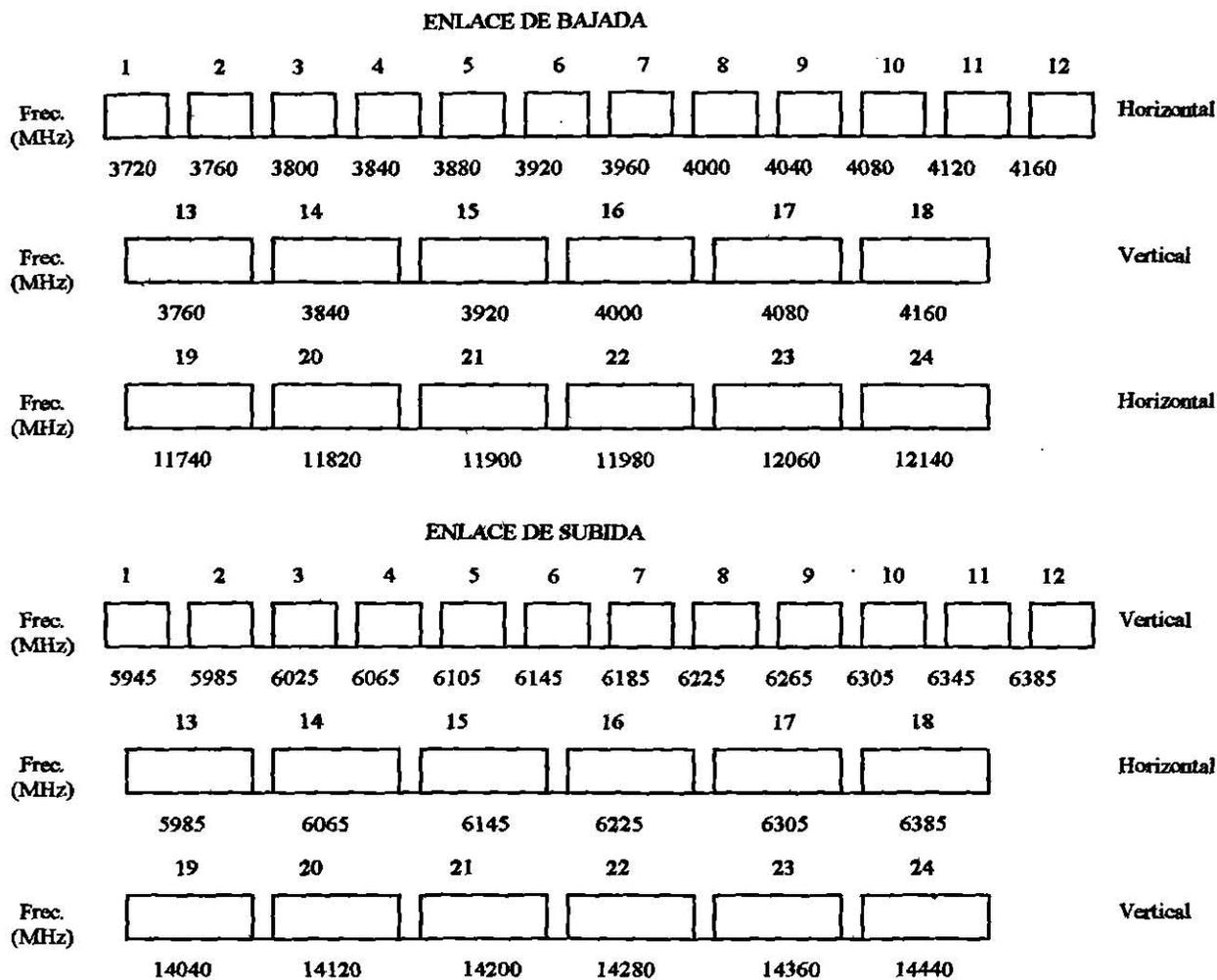


Figura 8.9 Plan de frecuencias y polarización de un satélite Spacenet.

8.3 SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO.

En el capítulo 4 (sección 4.3) se indicó que varias partes del satélite requieren rangos distintos de temperatura para operar eficientemente, y que es necesario mantener un balance o equilibrio térmico del conjunto para que dichos rangos se conserven. Uno de los factores que intervienen en el equilibrio térmico en cuestión es el calor generado constantemente por el satélite en su interior, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe del Sol y de la Tierra son otros factores que deben considerarse también.

La energía proveniente de la Tierra la integran dos tipos de radiación : la propia de ella y la del Sol reflejada por la superficie (albedo). La suma del calor generado internamente por el satélite mas el producido por la absorción de energía del Sol y de la Tierra, menos el radiado por el satélite al exterior, se debe mantener lo mas constante posible, con pocas variaciones, de tal modo que el satélite funcione íntegra y correctamente. El control de este balance térmico es también muy importante cuando ocurre un eclipse, pues el satélite se enfría bruscamente al quedar en la oscuridad, y cuando esta de nuevo expuesto a los rayos del Sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

La transferencia del calor sobrante del satélite al vacío se efectúa por radiación; en su interior también se produce una ligera transfusión de calor entre sus partes, pero por conducción en la estructura. Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en el diseño de satélites tienen a su alcance gran cantidad de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato. Por ejemplo, una sección del satélite va cubierta por un reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo, para rechazar el calor del exterior y al mismo tiempo transfiere del interior al vacío; los

dispositivos electrónicos que generan mas calor, como los amplificadores de potencia, se colocan junto a el. Por otra parte, los módulos del interior, así como el subsistema de antenas que van en el exterior, van cubiertos con algún tipo de material plástico aislante que los protege del calor y de los cambios bruscos de temperatura; así, por ejemplo, las antenas parabólicas van cubiertas con kapton, las antenas corneta con mylar y kapton aluminizados, y algunos equipos internos con mylar, kapton y kevlar.

Los colores juegan también un papel muy importante en el acabado en las partes del satélite, dependiendo del lugar que cada una de ellas ocupe en la estructura, al igual que las propiedades de absorción y emisión de los materiales. Así, por ejemplo, la pintura blanca absorbe la radiación infrarroja de la tierra, pero rechaza el flujo solar; su emitancia es muy alta y su absorbencia muy baja, de manera que se comporta como un elemento frío frente al Sol. Por otra parte, la pintura negra también tiene una emitancia alta, pero al mismo tiempo tiene una absorbencia muy alta, y cuando esta expuesta al Sol su temperatura es superior a los 0° C, a diferencia de la pintura blanca cuya temperatura puede ser inferior a los -50° C. Entre otros acabados, también se utiliza en algunas secciones la pintura de aluminio para tener una emitancia mas baja que la pintura negra, así como absorbencia también baja, las zonas recubiertas de pintura de aluminio son mas calientes en la oscuridad de lo que serian si tuviesen un terminado con pintura negra. Es así como, mediante la combinación de materiales y colores, y con el auxilio de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva dentro de un nivel aceptable de temperaturas durante la mayor parte del tiempo.

Sin embargo, el equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse, pues en ese momento desaparece la contribución de calor proveniente del Sol, así como el albedo cuya influencia es mucho menor, modificándose la temperatura resultante total. Sino se tomase alguna medida de protección para estas condiciones especiales, el satélite sufriría un cambio térmico muy fuerte, enfriándose a tal grado que los componentes mas sensibles a las bajas temperaturas dejarían de funcionar correctamente; unos de los elementos mas sensibles al frío son, por cierto, las baterías, que irónicamente son las responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante el eclipse, y por lo tanto es necesario contar con un sistema de calefacción que se encienda cuando la temperatura comience a bajar en forma significativa. Para tal efecto se utilizan caloductos para distribuir en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Los caloductos funcionan bajo el principio de la evaporación y la condensación sucesivas de algún fluido en los extremos del ducto; en el extremo donde esta la fuente de calor (los amplificadores de potencia) el fluido se evapora, y en el otro se encuentra un radiador que transmite el calor al exterior del ducto, hacia las partes frías; esto ocasiona que el fluido se condense, pero al recircular en el interior del caloducto pasa nuevamente a la condición de evaporación, y así en forma sucesiva.

8.4 SUBSISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la Tierra y retransmitirla hacia otra a través de su subsistema de antenas direccionales, que por supuesto deben estar permanentemente orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Para que tal situación se logre, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la Tierra, lo cual se obtiene mediante las técnicas de estabilización por giro o de estabilización triaxial.

Con la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite gira para conservar su equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanezcan orientadas hacia la Tierra. En los primeros satélites que utilizaron antenas de haces direccionales, estas se hacían girar en sentido contrario al giro del cuerpo cilíndrico del satélite, de tal forma que en realidad no se movían con relación a la superficie terrestre. Sin embargo, esta solución perdió practicabilidad al ir evolucionando las generaciones de satélites, y hoy solo una parte de su cuerpo gira mientras que el resto de la estructura se mantiene fijo; la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción. El satélite al girar sobre su eje se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadoras antes mencionadas.

Los satélite con estabilización triaxial no giran, y aparentemente permanecen estáticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntando hacia la Tierra. En estos casos, la estabilización de la estructura del satélite se conserva mediante volantes giratorios que van colocados en

su interior, sobre cada uno de los tres ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite hacia la superficie terrestre.

Independientemente del tipo de estabilización que se use, las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación respecto a la superficie de la Tierra. Por lo tanto, es preciso poder determinar, de alguna manera y en todo momento, donde está el satélite y cual es su orientación exacta de su cuerpo. Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en que dirección o ángulo con relación con algún punto de referencia sobre la Tierra. La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que se retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las fases de la señal transmitida y recibida es un indicador de lo lejos que se encuentra. La medición del ángulo o la dirección en la que se encuentra se puede hacer por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada estación. La técnica de máxima recepción es otra alternativa para medir el ángulo, y tiene la ventaja de que solo requiere una estación terrena y no dos; opera bajo el principio de orientar la antena hacia el satélite e ir la moviendo poco a poco hasta que se detecte el nivel máximo de radiación. Cuando se obtiene la posición de máxima recepción, se considera que la antena de la estación terrena está perfectamente orientada hacia el satélite, y por lo tanto se puede conocer la dirección o ángulo en que se encuentra.

Por lo que se refiere a la determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre, se puede utilizar para ello una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los de Sol y los de Tierra. Los sensores de Sol son dispositivos fotovoltaicos los que producen una corriente eléctrica cuya magnitud depende de la dirección de la radiación sobre ellos. Por lo tanto, si de alguna forma se conoce la cantidad de corriente generada, es posible relacionarla con la dirección a la que se encuentra el Sol; es decir, se mide un ángulo entre la dirección en la que se halla el Sol y uno de los ejes del cuerpo del satélite. Por su parte, los sensores de Tierra miden la radiación infrarroja emitida por el planeta, utilizando para ello un dispositivo sensible al calor, como un bolometro o una termopila. La cantidad de calor que reciben estos dispositivos depende de su orientación con relación a la superficie terrestre, y si el satélite cambia su orientación, los sensores van detectando estas variaciones; cuando los sensores están "viendo" sobre los bordes del horizonte terrestre ocurre un cambio muy brusco, pues el espacio que lo rodea se comporta como un medio sumamente frío en el infrarrojo, y el nivel de calor detectado tiende a cero. Es razonable suponer que todas las mediciones anteriores se deben hacer con la mayor precisión posible y que el diseño y fabricación de los sensores implica una tecnología muy avanzada

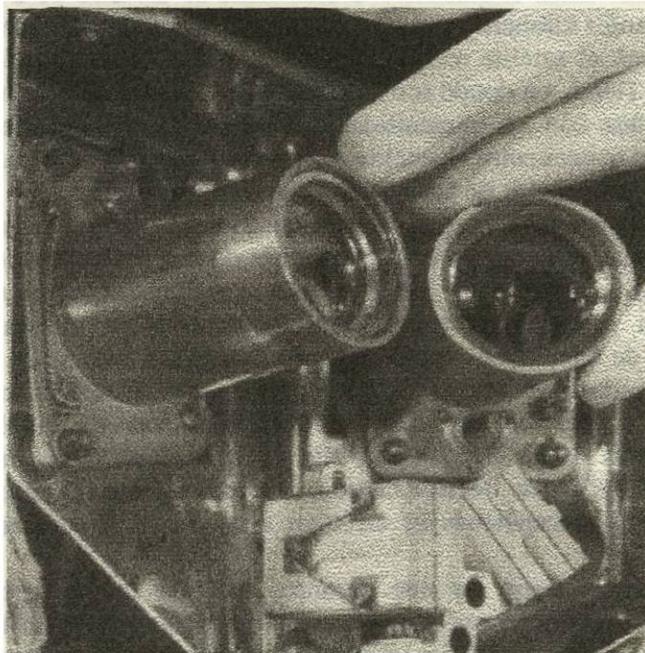


Figura 8.10 Sensores de Tierra y Sol de un satélite.

La precisión que ofrecen los sensores solares y de Tierra en la determinación de la orientación de un satélite es aceptable en la mayor parte de los casos, pero en las nuevas generaciones ya se está añadiendo otro tipo de control que permite mejorarla por un factor de 2 o hasta 3. El nuevo método utiliza sensores de radiofrecuencia, que detectan y miden las características de radiofaros o señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena; los sensores determinan con gran precisión la diferencia angular que hay entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la línea o trayectoria de las ondas de radio del radiofaro o haz piloto. El Intelsat VI es uno de los satélites que emplea este tipo de sensores.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos, calcular a continuación las correcciones que deben hacerse para reducir estos errores o diferencias, y finalmente llevarlas a cabo mediante la operación de algún actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite; el flujo de la información correspondiente se realiza por el subsistema de rastreo, telemetría y comando que se describe a continuación. Entre otros tipos de actuadores se cuenta con los volantes o giroscopios, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par correctivo; asimismo, hay bobinas que generan un momento magnético mediante una corriente eléctrica cuando esta interactúa con el campo magnético de la tierra, produciéndose así el par deseado de corrección; en ambos casos, sin embargo, la magnitud que se puede obtener en los pares generados de corrección es poca, y por consiguiente estos dispositivos son poco empleados como actuadores. Los más comunes, y que proporcionan niveles importantes en la magnitud de los pares necesarios de corrección, son los propulsores, que se describen en la sección 5.2.

8.5 SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRÍA Y COMANDO.

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios puntos de prueba, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interrupciones y temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital que el satélite transmite hacia la tierra con una velocidad baja, entre 200 y 1000 bits por segundo, y esta información permite conocer el estado de operación del sistema satelital, apoyada por la información de rastreo.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto, denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. Normalmente se utilizan de 6 a 7 tonos distintos, cuya frecuencia es de algunos cuantos kilohertz, y que modulan sucesivamente en fase con la señal portadora de la estación terrena de control; el satélite recupera los tonos y remodula con ellos a su propia portadora, para retransmitirlos hacia la Tierra, en donde son detectados por el centro de control. Las señales recibidas en Tierra se comparan en fase con las transmitidas originalmente, y las diferencias obtenidas permiten calcular la distancia a la que se encuentra el satélite, con precisión de algunas cuantas decenas de metros.

La transmisión de las señales de telemetría y la retransmisión de los tonos de rastreo hacia la Tierra se realiza a través de un mismo amplificador a bordo del satélite, al igual que con las señales de comando que se hayan recibido, para que se verifiquen antes de que sean ejecutadas (figura). Durante los varios años de vida operacionales del satélite, este amplificador es el mismo de alguno de los transpondedores empleados para las comunicaciones en general, ya que las señales transmitidas y recibidas por el subsistema de telemetría, rastreo y comando ocupan muy poco ancho de banda y pueden compartir el mismo amplificador de banda C o Ku con otro tipo de señales de comunicaciones. Solamente durante las maniobras de colocación en órbita es común utilizar un amplificador que funcione a frecuencias más bajas que las de las bandas C y Ku; en esta etapa importante de su lanzamiento se emplean las bandas de VHF y S, cuyas frecuencias son, respectivamente, de aproximadamente 140 MHz y 2 GHz, y las transmisiones y recepciones se efectúan a través de la antena de rastreo, comando y telemetría.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura, o bien (durante la colocación en órbita) extender los paneles solares, mover las antenas y encender el motor de apogeo. Todas estas señales de comando van codificadas, por cuestiones obvias de seguridad, y la mayor parte de

los sistemas que operan actualmente utilizan una secuencia en la que el satélite primero retransmite al centro de control los comandos que haya recibido, estos son verificados en la Tierra, y se comprueba que las ordenes fueron recibidas correctamente, entonces el centro de control transmite una señal de ejecución. Al recibirla, el satélite procede entonces a efectuar los cambios ordenados.

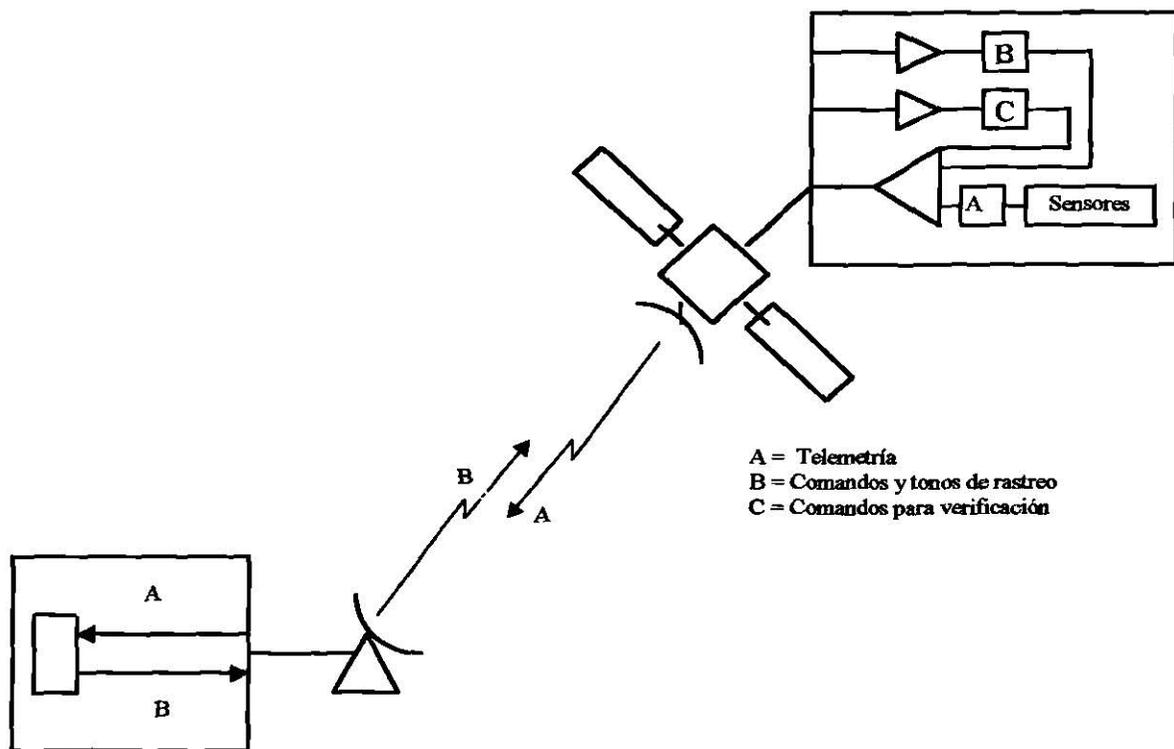


Figura 8. El subsistema de rastreo, telemetría y comando permite conocer y controlar la operación, posición y orientación del satélite.

CAPITULO 9

FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACION TERRENA

9.1 INTRODUCCION

Todo satélite es solo un nodo o punto intermedio de la red de comunicaciones de la que forma parte, que se complementa con las estaciones terrenas que se comunican a través de él. Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es su antena o plato parabólico. El término estación terrena se utiliza indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si está fijo, si es una unidad móvil, o si está instalado en algún barco o avión o cualquier otro vehículo. En la figura 9.1 se muestra el diagrama de bloques generalizado de una estación terrena, pero dependiendo de su aplicación particular algunas estaciones son mucho más sencillas y carecen de uno o varios bloques indicados. Por ejemplo, las estaciones caseras de recepción de televisión solo requieren los bloques de la antena y el receptor, mientras que en algunas redes de recolección de datos las estaciones emplean fundamentalmente la antena y el transmisor, por sus características de radiación, todas las estaciones terrenas que tengan antenas pequeñas no necesitan sistema de rastreo, mientras que las de diámetro muy grande si lo requieren para conservar su angosto haz bien apuntado hacia el satélite; cuando en una estación terrena se desea que no deje de funcionar por posibles fallas en el suministro de energía eléctrica debe adaptarse su propia planta de respaldo, denominada comúnmente como *sistema ininterrumpido de energía*.

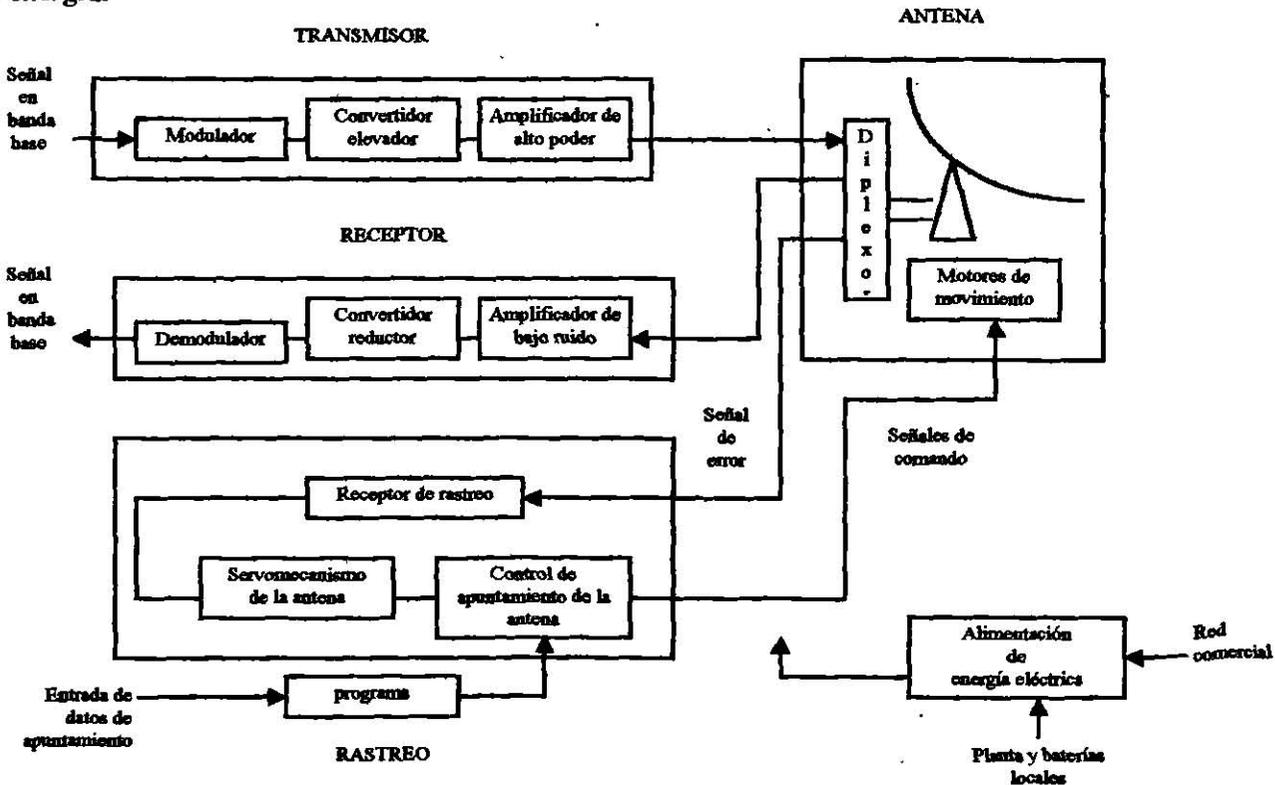


Figura 9.1 Diagrama de bloques generalizado de una estación terrena.

En el diagrama de la figura 9.1 ningún módulo se indica redundante o repetido, pero en la práctica si se acostumbra tener redundancia, dependiendo de la aplicación de la estación terrena y de la importancia y vitalidad de la información que maneje. Por lo general una misma antena se utiliza para

transmitir y recibir, si es que su aplicación así lo requiere; para esto se interconecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado *diplexor*.

9.2 LA ANTENA

9.2.1 CONFIGURACIONES GEOMETRICAS Y SU FUNCIONAMIENTO.

Las características mas 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 isotópica (dBi). Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir o transmitir, y la mínima en todas aquellas direcciones que no sean de interés; de ahí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo mas pequeños posible, para que no capten señales indeseables provenientes de otros sistemas de microondas. Estrictamente la ganancia de una antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación; su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de la superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo. Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia, su haz o lóbulo principal es mas angosto, y los lóbulos secundarios se reducen; asimismo, si su diámetro se conserva fijo, el mismo efecto anterior se obtiene mientras mayor sea la frecuencia de operación , pues eléctricamente hablando, la antena es mas grande en términos de longitudes de onda.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas (como si fuera una lente) en un punto común llamado foco; asimismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación. Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena y en el se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta; 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 tres mas utilizados son los de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain.

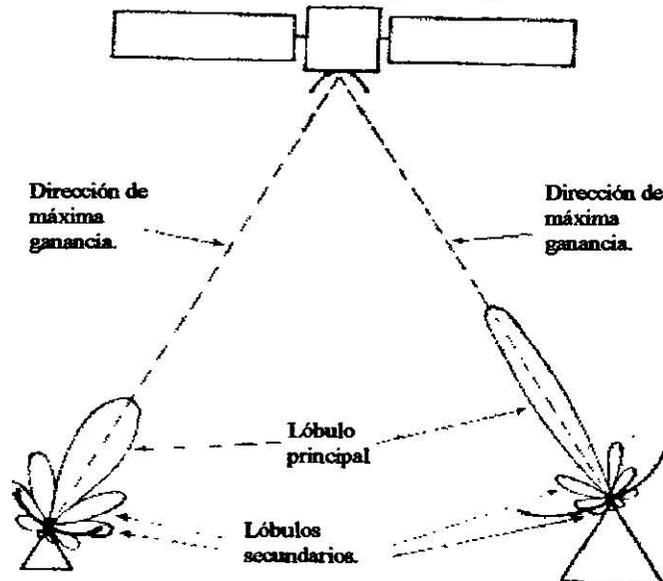


Figura 9.2 Patrón de radiación de una antena parabólica de dos estaciones, una de diámetro pequeño y otro grande.

En una antena parabólica con **alimentación frontal**, el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia esta orientada hacia el suelo; esto ultimo presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida. Asimismo, si la antena

esta 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 recibida al sumarse fuera de fase con la señal directa que es reflejada por el plato parabólico. El desborde de la radiación se puede reducir si se aumenta el diámetro de la antena o si se utiliza un alimentador de mayor directividad (mas complicado de fabricar y de mayores dimensiones), pero esto puede convertir a la antena en demasiado voluminosa, o bien el alimentador y su estructura de soporte bloquean mas el paso directo de las señales. A pesar de tales desventajas, incluyendo la del montaje de equipo electrónico detrás del alimentador, esta antena resulta fácil y económica de construir, y para ciertos fines de operación es satisfactoria, por lo que se usa universalmente en las estaciones caseras de recepción de televisión, donde la calidad de recepción de la señal es suficiente puesto que se consume localmente y no es necesario que pase por etapas adicionales de procesamiento, como ocurre en telefonía multicanal o distribución de televisión.

El bloqueo del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se puede eliminar si se utiliza una antena parabólica con alimentación descentrada. 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 de la corneta y del paraboloide no coinciden, de allí el nombre de alimentación descentrada. Sin embargo, la construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es mas costosa que la de alimentación frontal, además de que no se resuelve el problema del desborde por las orillas de la superficie parabólica. De cualquier forma, este tipo de antena se utiliza en varias estaciones receptoras y transmisoras de televisión, telefonía y datos, aun que la Cassegrain es mucho mas popular.

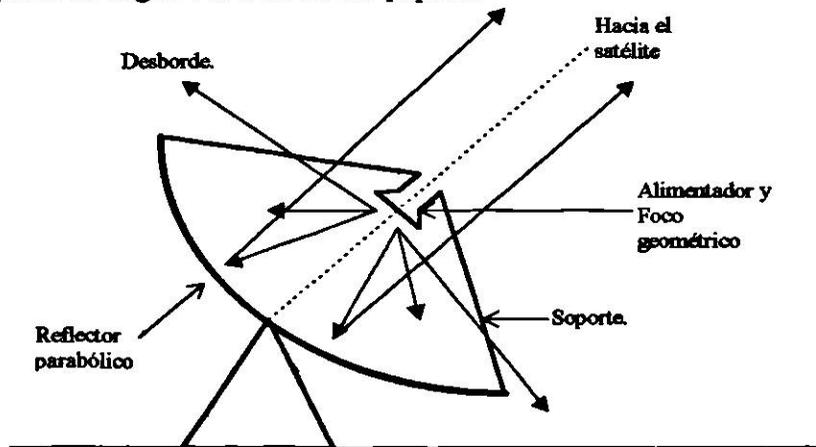


Figura 9.3 Antena parabólica con alimentación frontal

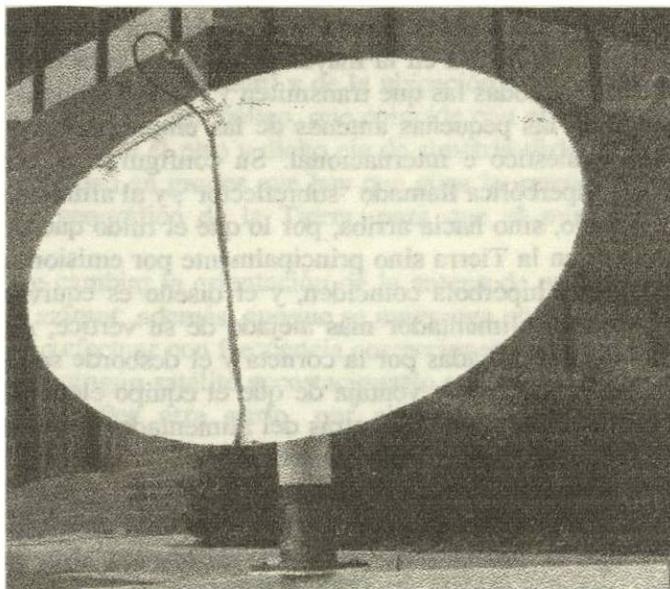


Figura 9.4 Antena parabólica con alimentación frontal.

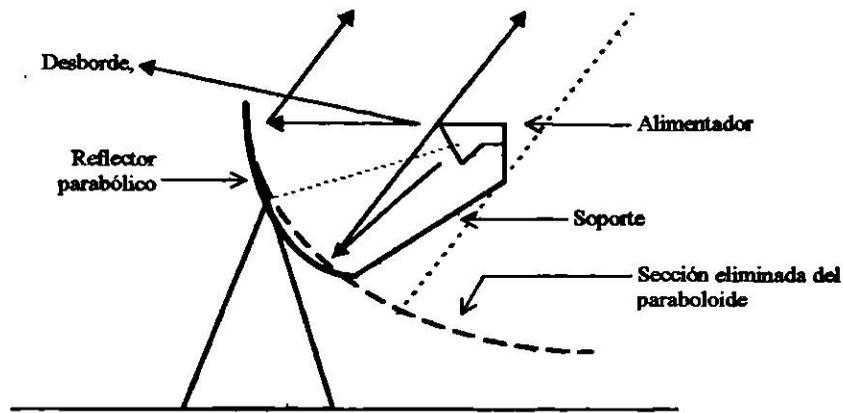


Figura 9.5 Antena parabólica con alimentación descentrada. Con esta configuración se elimina el bloqueo del alimentador, del equipo electrónico y del soporte.

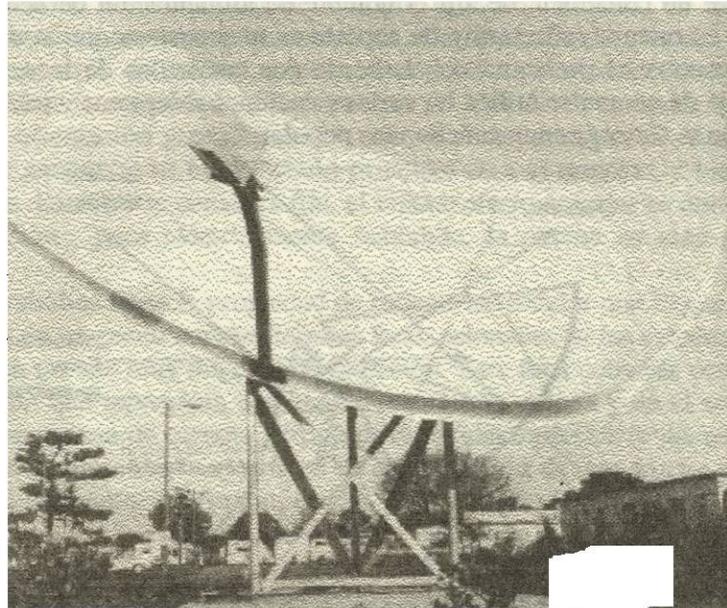


Figura 9.6 Antena parabólica con alimentación descentrada.

La antena Cassegrain es mucho más eficiente que cualquiera de las otras dos y su ganancia es mayor, pero su precio es más alto. Se utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, así como en todas las que transmiten y reciben grandes cantidades de telefonía y datos, incluyéndose en ellas desde las pequeñas antenas de las empresas hasta las medianas y grandes usadas en el servicio público doméstico e internacional. Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica llamado "subreflector", y al alimentador o corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el suelo, 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 a la atmósfera. 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 las señales radiadas por la corneta y el desborde se reduce significativamente. Además, con el diseño Cassegrain se tiene la ventaja de que el equipo electrónico se puede colocar sin problemas en una pequeña cabina inmediatamente atrás del alimentador y sin importar mucho su peso y dimensiones, reduciéndose así todo tipo de pérdidas por cableado.

En el caso de las estaciones más grandes se tiene la opción de emplear la antena Cassegrain con alimentador periscopico que en realidad es una variación del telescopio diseñado por el científico francés N. Cassegrain en 1672. Este tipo de antena tiene un ancho de banda mayor que la antena Cassegrain simple descrita anteriormente, permite colocar al alimentador y a todo el equipo electrónico asociado en una construcción que, además de protegerlos de las condiciones ambientales, los pone al alcance del

personal de mantenimiento, y adicionalmente el equipo es independiente de cualquier movimiento que la antena haga en elevación y azimut. Las conducción de las señales desde el alimentador hasta los reflectores parabólicos e hiperbólicos se realiza por medio de un haz que se refleja en los cuatro reflectores internos del sistema. De estos reflectores, dos son coaxiales con el eje de elevación de la antena (es decir, que sus ejes son paralelos y además se superponen) y los otros dos los son con el eje de azimut; cada espejo reflector produce una reflexión de 90° de los rayos de la señal, y normalmente se utilizan dos planos y dos elípticos o parabólicos. El efecto total es como si el alimentador se alargase hasta el vértice de la parábola, como si fuera un periscopio imaginario.

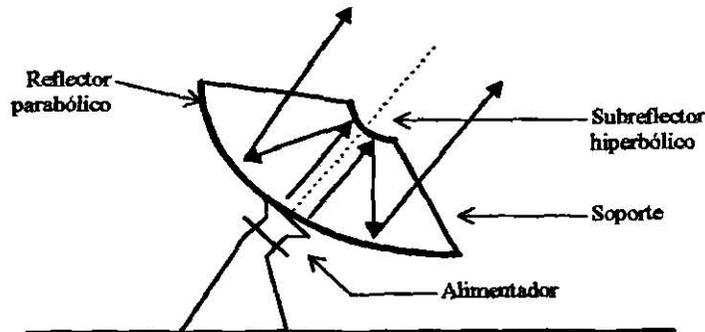


Figura 9.7 Antena Cassegrain con alimentación frontal.

Además de los tipos de antenas ya mencionados, existen varios otros que también son empleados en ciertas aplicaciones, aunque en realidad son muy pocas. Por ejemplo, la antena toroidal es un reflector que en su plano vertical tiene una curvatura parabólica, mientras que en el plano horizontal la curvatura es circular; presenta la ventaja de que puede recibir simultáneamente las señales provenientes de varios satélites situados en una sección de arco geostacionario sin necesidad de moverla, y sus dimensiones son relativamente pequeñas del orden de los 10 metros de diámetro. Asimismo, se puede utilizar una antena Cassegrain con alimentación descentrada para eliminar el bloqueo del subreflector hiperbólico, o bien las nuevas antenas planas con control de fase que pronto tendrán su aplicación principal en las estaciones de vehículos terrestres. De cualquier forma, las antenas parabólicas de alimentación frontal y Cassegrain son las más aceptadas en la actualidad, tanto en la banda C como en la banda Ku, y tal parece que así seguirá siendo por muchos años.

9.2.2 ORIENTACIÓN EN ELEVACIÓN Y AZIMUT

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geostacionario se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la ubicación geográfica de la estación (en longitud y latitud) y de la ubicación en longitud del satélite. Tomando como referencia el eje de simetría del plato parabólico, que coincide con el eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquel formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite; por su parte, el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en sentido de las manecillas del reloj con relación al norte geográfico de la Tierra, para que el mismo eje de simetría pase por la orientación del satélite.

Cuando se requiere cambiar la orientación de la antena de un satélite a otro, es necesario variar sus ángulos de elevación y azimut; además, aunque se mantenga en comunicación siempre con el mismo satélite, también es necesario efectuar con frecuencia correcciones pequeñas en ambos ángulos, pues como ya se ha visto anteriormente, ningún satélite geostacionario es realmente fijo, sino que tiende a salirse un poco de su posición orbital. Por otra parte, por ejemplo, las embarcaciones marítimas cambian constantemente de orientación, y las antenas de sus estaciones terrenas deben de reorientarse sincronizadamente en elevación y azimut para conservar la comunicación con el satélite; incluso, puede haber casos en los que la estación terrena sea fija, algunas condiciones ambientales ocasionales (como lluvia y viento) y el mismo peso de la antena modifiquen su orientación y sea necesario realizar pequeñas correcciones de los ángulos de elevación y azimut para garantizar una recepción y transmisión óptima de las señales.

9.3 EL TRANSMISOR.

Las estaciones terrenas transmisoras sencillas cuentan con un solo bloque de transmisión como el indicado en la figura 9.1, y las que conducen gran cantidad de diversidad de señales tienen varios bloques en paralelo. El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador, y amplificador de alta potencia. Después de que una señal ha sido generada o producida (ya sea que consista en canales telefónicos, de televisión o de datos) y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje en frecuencia o en tiempo, se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire, hacia el satélite, sin que sea interrumpida o interferida con otras señales; este acondicionalmente permite que se le pueda recuperar fielmente en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea muy bajo al llegar. El proceso electrónico que se efectúa con este fin es la modulación de una portadora por la señal, y existen varios tipos del mismo; los más comunes son el analógico de modulación en frecuencia o FM y el digital de desplazamiento de fase o PSK.

El modulador de la estación terrena combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es elevada 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 información en una región más alta en el 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, empleándose para ello un equipo convertidor elevador en frecuencia.

El convertidor elevador transfiere a la señal de la frecuencia intermedia (que dependiendo del sistema puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz 1 GHz o más) a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas; por ejemplo, la señal nueva puede estar centrada aproximadamente a 6 GHz o 14 GHz. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregarla a la antena; para esto se utiliza un amplificador de alta potencia o HPA, del cual existen fundamentalmente dos tipos: el tubo de ondas progresivas (TOP) o TWT y el klistron.

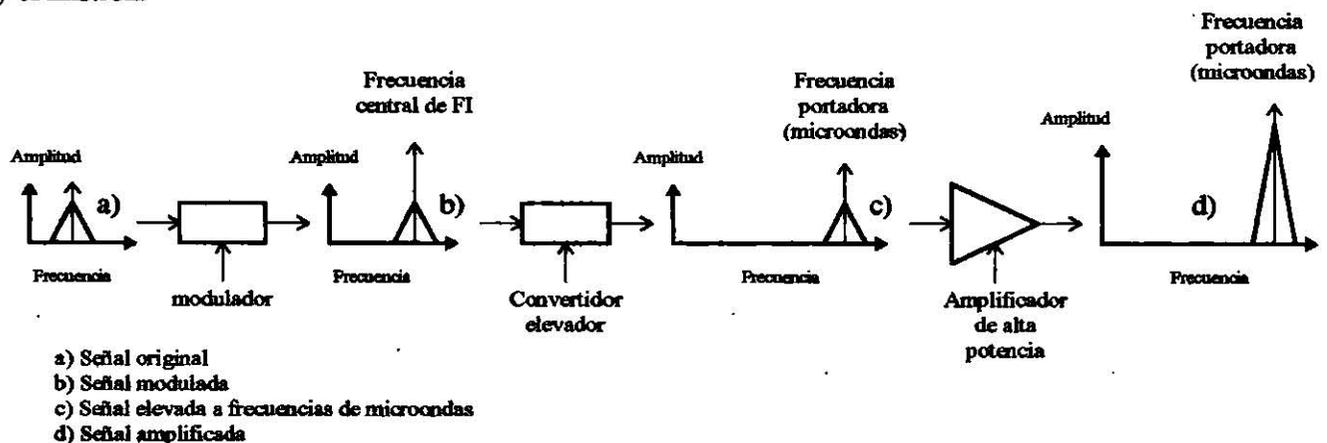


figura 9.9 Bloques del sistema de transmisión y transformación de una señal para poder radiarla hacia el satélite

Un tubo de ondas progresivas es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 MHz o más en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo. Sus características de operación son satisfactoriamente uniformes y constantes a cualquier frecuencia, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas (así estén dirigidas hacia un mismo transpondedor o transpondedores diferentes) su potencia de salida no se puede aumentar al máximo; de hacerlo, el ruido de intermodulación sería muy grande. Para reducir el ruido, es necesario operar al amplificador en un nivel de potencia de salida bajo, con la consiguiente pérdida de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida (back off). A pesar de este inconveniente, el uso de los tubos de

ondas progresivas es mas común que el de los klistrones, pues una de sus ventajas es que se puede efectuar cualquier modificación en la frecuencia central de amplificación, dentro del ancho de banda de operación del satélite (500 MHz o mas), sin tener que sintonizarlo, además de que no hay que emplear un combinador especial de señales a la salida, como si pudiese ocurrir también en los klistrones.

Un klistron es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión. Cuando una estación terrena tiene varios klistrones y desea transmitir toda la información procedente de ellos por una misma antena, se necesita usar un combinador de señales, que introduce perdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por back-off en los tubos de ondas progresivas. Además de estas perdidas, el combinador se convierte en un punto de interacción entre las salidas de los distintos klistrones que puede conducir a interferencias entre ellos; asimismo, cuando se requiere cambiar de transpondedor en el satélite, es preciso volver a sintonizar al klistron correspondiente. De cualquier forma, varios usuarios aun eligen klistrones para sus instalaciones, por que su eficiencia (40%) de aprovechamiento de energía eléctrica es mayor que la de los TOP, son muy confiables y robustos, duran mucho tiempo en servicio, y además son mas económicos que los tubos de ondas progresivas. Particularmente, son empleados para transmitir canales de televisión y en estaciones terrenas de poca potencia que transmiten unos cuantos cientos de canales de telefonía o datos, pero en este ultimo caso la potencia suficiente determina finalmente el tipo de amplificador que se use, ya que no hay klistrones en el mercado con potencia de menos unos 400 watts y pueden resultar excesivos para ciertas aplicaciones.

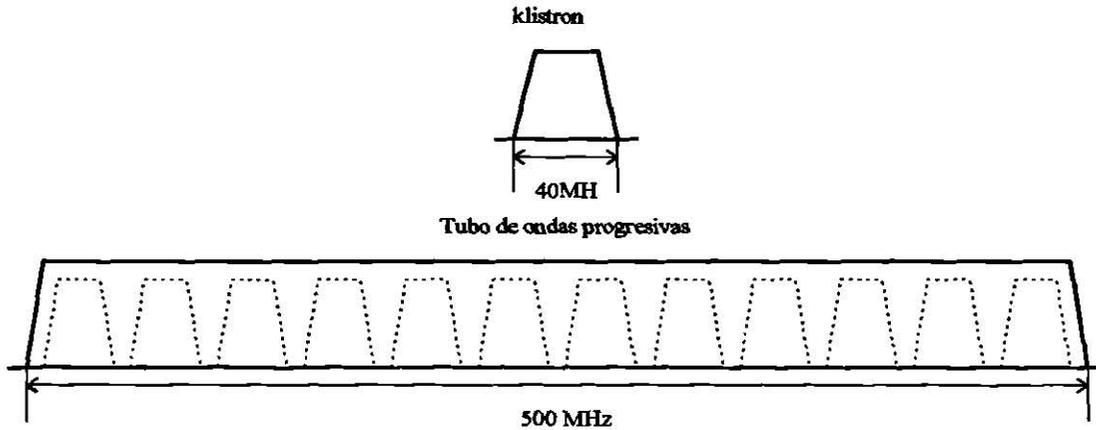


Figura 9.10 Ancho de banda de los amplificadores de alta potencia. Un tubo de ondas progresivas equivale, en frecuencia, a tener doce klistrones sintonizados a diferentes frecuencias centrales.

	Banda C (5.925 GHz-6.245 GHz)		Banda Ku (14 GHz-14.5 GHz)	
	Ancho de banda (MHz)	Potencia salida (watts)	Ancho de banda (MHz)	Potencia salida (watts)
Tubo de ondas progresivas (TOP)	500	50-10,000	500	50-3,000
Klistron	40/80	400-5,000	100	1,500-2,000
Estado sólido (FET)	500	5-50	500	1-6

En general, un canal telefónico consume aproximadamente 1 watt de potencia, mientras que uno de televisión consume 1 kilowatt; por lo tanto, las estaciones terrenas pequeñas, que solo tienen la necesidad de transmitir algunos canales telefónicos o datos de baja velocidad (de unos cuantos kilobits por segundo), no requieren amplificadores tan potentes como los tubos de ondas progresivas o los klistrones. Gracias a la ganancia de su antena parabólica, y debido a que el trafico que transmite es bajo y ocupa muy poco ancho de banda, estas estaciones que operan en SCPC usan amplificadores de baja potencia o LPA

hechos con tecnología de estado sólido. Su potencia de salida es de unos cuantos watts, y la mayor parte funciona con transistores de efecto de campo o FET. Los procesos de modulación y conversión de frecuencia anteriores a esta etapa son los mismos ya explicados; simplemente el amplificador de alta potencia se sustituye por uno de baja potencia. En la fotografía siguiente se muestra el gabinete completo que contiene los equipos de transmisión y recepción de un sistema SCPC, y en la tabla anterior se indican las principales características de los amplificadores de potencia disponibles en el mercado. Sea cual sea el tipo de amplificador que se utilice y su potencia nominal de salida, siempre es deseable que la temperatura física de sus componentes se mantenga lo mas baja posible; con esto, la temperatura equivalente del ruido producido por el amplificador se reduce y, en consecuencia, la eficiencia del dispositivo aumenta. Normalmente, los amplificadores se enfrían con ventilación forzada, pero cuando la potencia de salida pasa los 3 KW es necesario utilizar un sistema de enfriamiento con circulación de agua, y este se puede combinar al mismo tiempo con ventilación forzada.

Dada la posible pérdida de todo un enlace de comunicaciones si es que el amplificador de potencia falla, por norma general es común encontrar sistemas operativos en los que hay amplificadores de redundancia; la estación terrena puede tener una o varias configuraciones de redundancia, por ejemplo, dos a uno (es decir, que hay dos amplificadores uno operando y otro de reserva), tres a dos (dos operando y uno de reserva), etc., y en cada caso los amplificadores que operan y el amplificador de reserva se conectan entre la etapa anterior de comunicaciones y la antena con un conmutador de entrada y otro de salida. En la figura 9.12 se muestra el diagrama de bloque de una cadena de transmisión con redundancia de 1+1, en donde no solo el amplificador de potencia se tiene por duplicado, sino también el modulador y el convertidor elevador de frecuencia; el filtro pasa banda entre ambos permite modular el ancho de banda de la señal modulada, eliminando o reduciendo el nivel de las componentes de frecuencia indeseables, para que así el convertidor elevador opere con mayor eficiencia. Generalmente, el nivel de potencia a la salida del convertidor elevador es bajo en comparación con el que debe aplicarse a la entrada del amplificador de potencia para que este funcione adecuadamente. Por lo tanto, es común añadir un amplificador excitador (driver) entre el convertidor de frecuencia y el amplificador de potencia, como una etapa de amplificación a niveles de potencia intermedia; este amplificador excitador también recibe el nombre de preamplificador, por razones obvias.

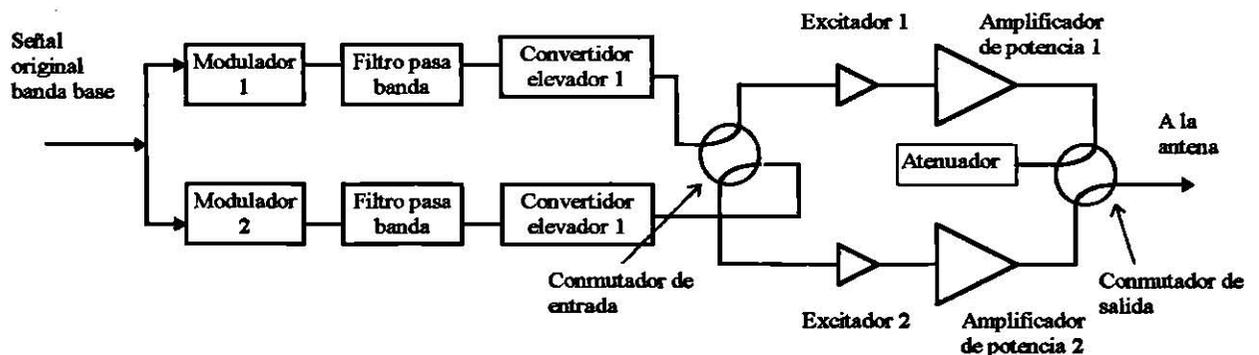


Figura 9.12. Cadena redundante de transmisión (1+1) de una señal. Puede haber cuatro trayectorias distintas de transmisión, previniendo la posibilidad de que alguno de los equipos falle.

Por ultimo, es importante señalar que, antes de su adquisición, las características de un amplificador de potencia se deben determinar tomando en cuenta el posible crecimiento futuro del trafico en la estación terrena; es decir, que aun cuando en un principio el amplificador tenga que operar a un nivel bajo para su capacidad, sea capaz de suministrar los requerimientos de potencia y ancho de banda para futuras señales adicionales que la estación deba transmitir durante los años siguientes de su vida útil; desde luego, el costo y la rapidez prevista del crecimiento del trafico influirán en la decisión final sobre el amplificador y el diseño general de la estación terrena.

9.4 EL RECEPTOR.

9.4.1. GENERALIDADES.

Tal como se ha visto, un satélite de comunicaciones funciona como un gran espejo en el espacio; la señal retransmitida por él es idéntica a la que recibe desde la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencias más baja en el espectro radioeléctrico y, por supuesto, es amplificada. En su trayectoria de regreso a la tierra, la señal viaja un promedio de 36 000 Km y, por lo tanto, su nivel de potencia al llegar a las antenas de las estaciones receptoras es sumamente bajo. En el diagrama 9.1 se muestra la configuración básica de un bloque de recepción. La antena recibe simultáneamente todas las señales provenientes del satélite en la polarización y bandas de frecuencias con las que ellas funciona, o sea, información de muy diversos tipos dentro de un ancho de banda usual de 500 MHz; sin embargo, lo común es que cada estación en particular solamente sea de interés recibir una pequeña porción de toda esa información, concentrada en tan solo un ancho de banda de 5 MHz o aun menos. Es decir, que la estación, después de capturar y amplificar toda esa información, debe separar solo aquella parte que le corresponda para procesarla. Hay que tomar en cuenta que posiblemente la información dirigida a una estación en particular provenga de diferentes estaciones terrenas transmisoras que funcionen con transpondedores distintos en el satélite; por lo tanto, esas señales ocupan posiciones diferentes dentro de los 500 MHz del ancho de banda del paquete de información que el satélite retransmite y, en consecuencia, la estación receptora debe extraer únicamente las porciones que le interesen, y que no necesariamente son adyacentes en frecuencia.

9.4.2 EL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO.

Haciendo referencia a la figura 9.1, la antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del diplexor las entrega a un **amplificador de bajo ruido**; este funciona similarmente a el amplificador de bajo ruido de el satélite, por las mismas razones de que a su llegada la señal tiene una intensidad muy baja y es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes en una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación. Anteriormente se comentó que la antena tiene un nivel de ganancia o amplificación; para fines de recepción, este es su parámetro más importante y se designa como G . Por su parte, el amplificador de bajo ruido tiene una "temperatura de ruido" como su principal parámetro indicativo, y mientras más baja sea mejor, por que el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta. Sin embargo, no solamente se introduce ruido en la señal a través del amplificador de bajo ruido, sino también por la antena, y su magnitud se calcula en función de una "temperatura de ruido de la antena", la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura de ruido total T del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas en los conectores sean bajas.

El valor del coeficiente G/T es una cantidad que se utiliza comúnmente para definir las cualidades de recepción de una estación terrena, y según el satélite con el que se comunique debe tener un valor mínimo para funcionar aceptablemente. Esta relación G/T se conoce como **factor de calidad** o "cifra de mérito", y como la ganancia de la antena está dada en decibeles y la temperatura de ruido en grados Kelvin, sus unidades son dB/K.

De acuerdo con lo anterior, y como el nivel de potencia de la señal llegada a la estación terrena receptora es muy bajo, el amplificador de bajo ruido debe ser altamente sensible, es decir, que el ruido interno generado por él sea lo más bajo posible. La temperatura de ruido del amplificador es función de varios de sus parámetros, como su ganancia, las características de sus componentes, y la temperatura física de ellas. Si la temperatura física se logra reducir, entonces la temperatura de ruido también baja; por lo tanto, es deseable enfriar al amplificador lo más que se pueda, muchas veces hasta temperaturas cercanas al cero absoluto.

La mayor parte de los amplificadores de bajo ruido son "paramétricos" (su circuito de microondas emplea un diodo varactor), pero en los últimos años se ha logrado un progreso importante en la fabricación de amplificadores de bajo ruido con transistores de efecto de campo de arseniuro de galio (GaAsFET).

Estos últimos son mas estables y menos complicados para alimentarlos de energía, aunque su temperatura de ruido es ligeramente mayor que la de los amplificadores paramétricos. Por norma general las estaciones grandes usan amplificadores paramétricos y las estaciones pequeñas amplificadores FET.

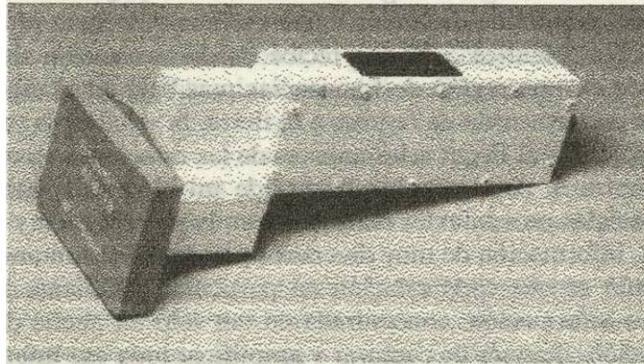


Figura 9.13 Amplificador de bajo ruido de la banda Ku.

La temperatura de ruido usual con la que trabajan los amplificadores actuales es del orden de unas cuantas decenas de grados Kelvin, o cuando mucho unos 250°K. La tecnología desarrollada hasta ahora en la banda C ha permitido fabricar amplificadores con temperaturas inferiores a los 100°K, pero en banda Ku es mas común encontrarlos con temperaturas entre los 100 y 200°K. Sin embargo es importante mencionar que un valor elevado de la temperatura de ruido del amplificador importa menos en relación con la temperatura de ruido de la antena cuando se utiliza en banda Ku que cuando se utiliza en la banda C; es decir, en la banda Ku no importa tanto si la temperatura del amplificador es unos 100°K mayor, ya que la temperatura de la antena puede ser varios cientos de grados Kelvin, y comparativamente, la ultima influye mas en la calidad de operación de la estación. El gran aumento de la temperatura de ruido de la antena en la banda Ku se debe principalmente al comportamiento de la atmósfera en esas frecuencias y a la atenuación de la señal causada por la lluvia; en cambio las señales en banda C son atenuadas muy poco por la lluvia y la temperatura efectiva de ruido de la antena es relativamente baja. Debido a lo anterior, cuando un enlace de comunicaciones funciona en la banda Ku, es necesario diseñarlo con un amplio margen de operación, para que cuando llueva, la señal no se degrade a niveles de potencia insatisfactorios; a este margen de diseño se le da el nombre de **margen de lluvia**.

En la siguiente tabla se concentra la información básica referente a los amplificadores de bajo ruido que se encuentran actualmente en el mercado; desde luego, puede haber algunas variantes dependiendo del fabricante. Como se observa, la temperatura física del amplificador se puede controlar por diversos medios: refrigeración criogenica, termoeléctrica o por compensación de temperatura. La refrigeración criogenica incluye dispositivos como partes móviles y consiste básicamente en un sistema de circulación de helio gaseoso, alcanzándose temperaturas cercanas a los -250°C. Se utilizaba en casi todas las estaciones internacionales de estándar A de Intelsat hasta principios de los años setenta, pero en las estaciones modernas ya no se emplea, principalmente por que es cara y su mantenimiento es complejo; el avance de la tecnología ha permitido fabricar amplificadores que sin ser refrigerados criogenicamente tienen temperaturas de ruido bajas.

Con es sistema de refrigeración termoeléctrica se logra reducir la temperatura de los componentes sensibles del amplificador hasta unos -50°C; tiene la ventaja de que no requiere una parte móvil, además de que se instala directamente dentro de el dispositivo, en una caja sellada herméticamente, lo cual da facilidad de mantenimiento. La refrigeración opera con diodos que aprovechan el efecto Peltier, descubierto por el fisico francés del mismo apellido hace mas de cien años, y que comenzó a utilizarse en la década de los sesenta para producir comercialmente la refrigeración termoeléctrica. Este efecto consiste en que cuando se aplica una corriente eléctrica en un circuito hecho con la unión de dos conductores distintos, uno se calienta y otro se enfría, y el efecto es mayor cuando los conductores de la unión son semiconductores. Los amplificadores de bajo ruido con este tipo de refrigeración interna pueden funcionar sin ningún problema a la temperatura ambiente. En cuanto a la refrigeración por compensación de temperatura se refiere, esta se utiliza cuando no se necesita que la temperatura de ruido sea muy baja;

emplea sistemas de control mas sencillos que los de la refrigeración termoeléctrica, es muy confiable, y también puede usarse a la temperatura ambiente.

	Tipo	Forma de refrigeración	Temperatura de ruido típica (°K)
Banda C (3.7-4.2 GHz)	Paramétrico	Criogenica	15
	Paramétrico	Termoeléctrica	35-40
	Paramétrico	Compensación de temperatura	50-60
	FET	Termoeléctrica	45-60
	FET	Compensación de temperatura	75
Banda Ku (11.7-12.2 GHz)	Paramétrico	Criogenica	20
	Paramétrico	Termoeléctrica	80-100
	Paramétrico	Compensación de temperatura	100-150
	FET	Termoeléctrica	90-140
	FET	Compensación de temperatura	200-250

Actualmente, la elección normal para las estaciones grandes o de tamaño medio es la de usar amplificadores paramétricos (o incluso FET) con refrigeración termoeléctrica, mientras que en el caso de las estaciones pequeñas es mas común el empleo de los FET con refrigeración por compensación de temperatura. En cualquiera de los casos, es posible reducir la temperatura de ruido aun mas si se añade a el dispositivo un sistema de enfriamiento exterior, es decir, si no esta expuesto directamente a la temperatura ambiente, de allí los limites de las temperaturas indicados en la tabla.

En muchos casos, la contribución de ruido de un amplificador se expresa en función de un factor de ruido F, en lugar de su temperatura de ruido T expresada en grados Kelvin. Los dos parámetros F o T son igualmente indicativos de la propiedad del amplificador de introducir mas o menos ruido según las características de diseño, pero por norma general es mas común que en la banda C se defina T y en la banda Ku se prefiera emplear el factor de ruido F. Ambos parámetros están relacionados entre si por una expresión muy sencilla ($T=290 [f-1]$) que demuestra que cuanto sea mas pequeño el factor de ruido será mejor; este factor se expresa en decibeles y su valor en los amplificadores comerciales varia normalmente entre 1.5 y 3.0dB. Cuando se desea hacer la conversión del factor de ruido a la temperatura de ruido, es preciso primero convertir F de decibeles a su valor numérico equivalente.

9.4.3 CONVERSION DE FRECUENCIA, DEMODULACION Y CALIDAD DE RECEPCION.

Haciendo referencia una vez mas al diagrama de bloques generalizado de la figura 9.1, se observa que después del amplificador de bajo ruido van conectados en cadena un convertidor reductor de frecuencias y un demodulador, sin contar algunos filtros intermedios. La señal de salida del amplificador contiene toda la información radiada por el satélite en una banda de operación de 500 MHz situada aun en la misma región del espectro radioelectrico; el convertidor reductor tiene como función transferir toda esa información de 500 MHz a una región mas baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia (FI) de recepción, es decir, haciendo una operación inversa al convertidor elevador de la estación transmisora.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso, bajando de la frecuencia llegada a la antena hasta la frecuencia intermedia FI que se le debe entregar al demodulador (figura 9.13). El proceso también se puede realizar en dos pasos (Figura 9.14) y se prefiere así cada vez mas en las estaciones terrenas modernas por que es mas fácil sintonizar los equipos de recepción en cualquier región del ancho de banda; esto es importante, porque el plan original del uso de las frecuencias de transmisión del satélite puede variar con el tiempo, en uno o todos sus transpondedores, y la frecuencia de trabajo del convertidor reductor se puede ajustar mas fácilmente si se usa la doble conversión.

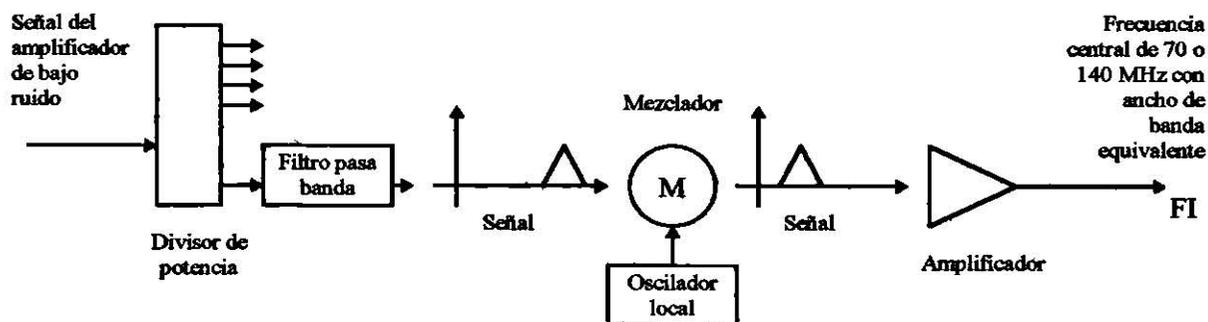


Figura 9.13 Conversión reductora de frecuencia en un solo paso.

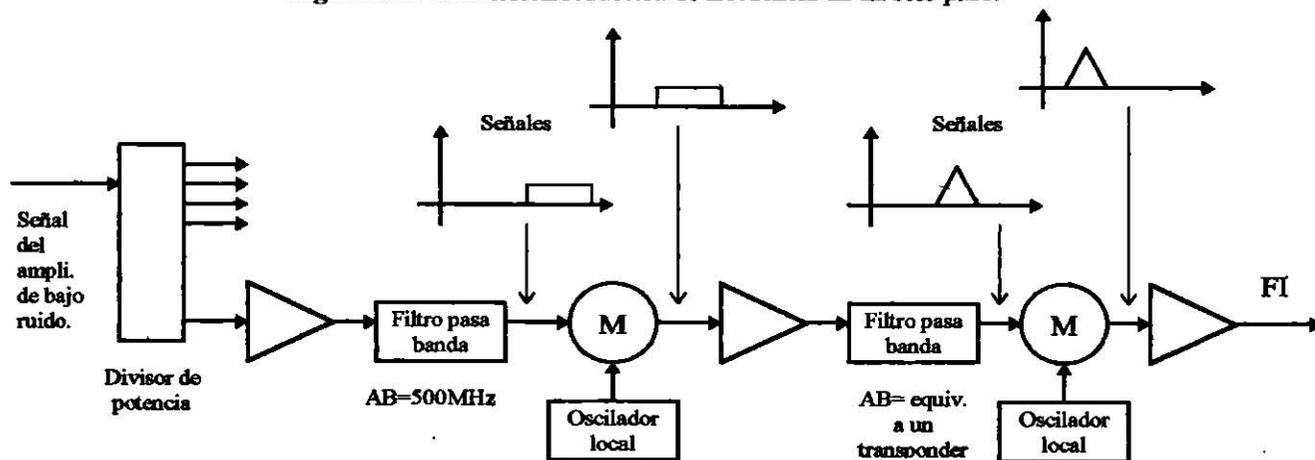


Figura 9.14 Conversión reductora de frecuencia en dos pasos.

Algunos fabricantes producen el amplificador de bajo ruido o LNA integrado al convertidor reductor de frecuencia en un solo bloque; ambos van contenidos dentro de la misma caja blindada y el producto se conoce como "convertidor de bajo ruido" o LNC, o como "convertidor reductor de bloque de bajo ruido" LNB. En la mayor parte de las estaciones terrenas receptoras el convertidor reductor se instala a unos 10 metros de distancia como máximo del amplificador de bajo ruido, con el fin de minimizar las pérdidas de los cables. La ventaja de un convertidor de bajo ruido es que el convertidor reductor va montado en la antena misma junto a el LNA, pero la estabilidad de su oscilador local se puede alterar por temperaturas extremas del medio ambiente; como los requerimientos de estabilidad son menores en la recepción de televisión modulada en FM que, por ejemplo, en SCPC o sistemas TDMA, los LNC y los LNB son utilizados principalmente para la recepción de televisión. De estos dos, el LNC tiene la desventaja de que puede alimentar solo a un receptor a la vez, mientras que el LNB puede alimentar simultáneamente a varios receptores con señales distintas.

La señal de frecuencia intermedia que sale del convertidor reductor aun esta modulada (ya sea en FM, PSK o alguna otra forma de modulación), y el paso siguiente para recuperarla en su forma original es precisamente demodularla. En realidad, la señal nunca se recupera exactamente como era en su forma original, ya que diversos factores (como el ruido térmico y el de intermodulación), se encargan de distorsionarla. El grado de distorsión que se produce depende del tipo de modulación que se haya elegido, del nivel de la potencia transmitida, de la ganancia de las antenas, y de otros parámetros del diseño del enlace. De cualquier manera, si el enlace ha sido bien diseñado, el oído o el ojo humanos no perciben tal distorsión en una señal de audio o de vídeo, respectivamente, y la toman como aceptable o quizá hasta excelente. Para esto se han establecido normas internacionales, las cuales fueron acordadas después de haber hecho muchas pruebas subjetivas con una gran gama de individuos, a fin de saber cuanto ruido era permisible en presencia de cada tipo de señal sin que resultase incomodo; es decir, se comprobó que si el cociente de la potencia de la señal deseada dividida entre la potencia del ruido era mayor de cierto valor o estándar, entonces el sistema funcionaba bien. A este cociente se le llama **relación señal a ruido** y se representa como S/N; es la medida de la calidad de la señal recibida y se especifica precisamente a la salida del demodulador.

Para cada clase de señal hay un estándar o un S/N distinto. Por ejemplo, para una señal telefónica el estándar es de 50 dB, o sea, que la mayor parte del tiempo, la potencia de la señal que sale del demodulador y que contiene la información de la voz debe ser 100 000 veces mayor que la potencia del ruido ($S/N = 10 \log [100\ 000/1] = 50 \text{ dB}$). Por lo general la relación S/N debe ser aun mayor en el caso de las señales de televisión, y su valor es fijado por el tipo de uso que se les vaya a dar (servicio rural, urbano de distribución, estación caseras, etc.); por ejemplo, para el servicio rural o casero de recepción directa de TV quizá sea aceptable una S/N de 44 a 48 dB, pero para un servicio de distribución en una ciudad los enlaces procuran diseñarse de tal forma que la S/N sea de 53 dB o mas durante el mayor tiempo (99%), específicamente cuando se esta operando en un medio comercial altamente competitivo.

La relación señal a ruido es la medida de la calidad para enlaces analógicos (p. ej. televisión o telefonía modulada en FM); en una transmisión digital (p. ej. telefonía digitalizada o datos con modulación PSK) dicha relación no se utiliza, si no que se emplea la probabilidad de error. La señal digital esta compuesta por una secuencia de "unos" y "ceros"; el ruido al añadirsele a ellos en diferentes etapas del enlace ocasiona que algunos unos y ceros se interpreten mal en el receptor, es decir, que este se equivoque e interprete a un uno como cero o viceversa. Cuantos mas errores cometa el aparato por efecto de la superposición de ruido, mas difícil es reconstruir la señal en su forma original y, en consecuencia, la calidad del servicio se degrada. La proporción de bits (unos y ceros) que sean interpretados erróneamente por el demodulador digital, en relación con la secuencia correcta que tenga la señal original, es la medida de la calidad del enlace y se le conoce como probabilidad de error. Por ejemplo, si por cada 10 000 bits de información demodulada uno de ellos esta mal detectado, la probabilidad de error P_e es de $1/10\ 000$, o sea, 10^{-4} ; si en cambio se detectan mal 10 bits por cada 10 000 bits de información demodulada, entonces $P_e=10^{-3}$.

Así como se indico para las transmisiones analógicas, el estándar o P_e de una transmisión digital dependa del tipo de información que se este transmitiendo y que uso se le vaya a dar. Por ejemplo, el canal telefónico digitalizado se considera de muy buena calidad si la salida del demodulador se recupera con una probabilidad de error de 10^{-4} la mayor parte del tiempo, es decir, no mas de un error por cada 10 000 bits de información; en cambio, para un servicio de correo electrónico, facsímil de alta velocidad o transferencia de datos entre computadoras, la probabilidad de error no debe pasar de 10^{-8} , es decir, no mas de un error por cada 100 000 000 de bits de información recuperada.

Según lo anterior, se ve que el demodulador es un bloque muy importante de toda la cadena de recepción, ya que determina la calidad final del enlace, entregando a su salida la señal "original" con cierta relación S/N o una probabilidad de error P_e , según el caso. Obviamente, para que el demodulador funcione bien necesita que la señal modulada que entre a el lo haga cuando menos con nivel mínimo de potencia, en relación con el ruido que lleva consigo. Para diferenciar los cocientes de la potencia de la señal entre el ruido, tanto a la entrada como a la salida del demodulador se utiliza la notación C/N a la entrada y S/N o P_e a la salida; C es la potencia de la señal todavía en forma modulada y N es la potencia del ruido distribuido en todo el ancho de banda de la señal modulada. El cociente C/N se denomina relación señal a ruido. En la figura 9.15 se muestra el diagrama de bloques completo de una cadena usual de recepción; como ya se indico anteriormente, conviene utilizar cierto grado de redundancia en los equipos, para que el enlace no se interrumpa aunque alguno de ellos falle.

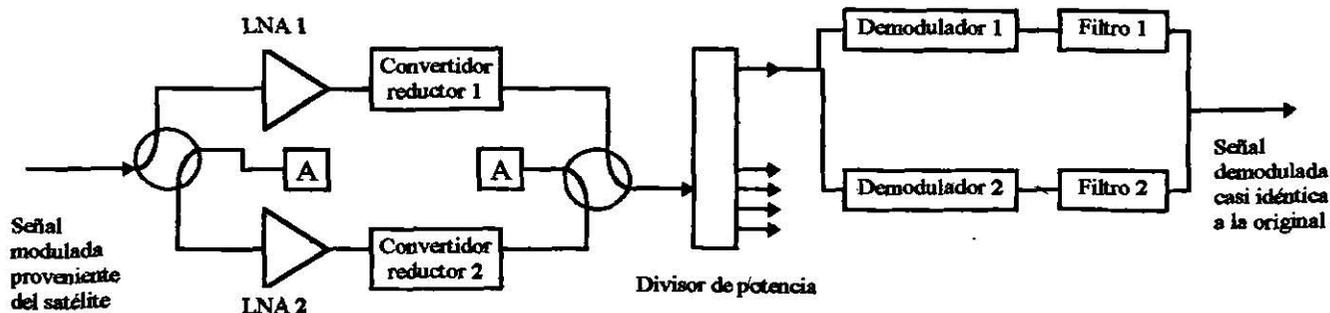


Figura 9.15 Ejemplo de cadena redundante de recepción (1+1) de una señal. Puede haber cuatro trayectorias distintas de recepción.

9.5 ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA.

El tipo de servicio que una estación terrena presta, determina la complejidad y confiabilidad necesarias de su sistema de alimentación de energía. En el caso de una estación casera de recepción de televisión (TVRO), no tendría mayor trascendencia que se fuese la luz durante cinco minutos o una hora en la zona residencial donde se encuentre; cuando mucho, el propietario perdería el buen humor, t además, quizá ni tendría encendido el televisor en ese momento. En cambio, no sería bien visto que por falta de luz durante unos minutos o media hora, no fuese posible transmitir importantes paquetes de información digital entre centros de computo u oficinas administrativas, que no se pudiesen hacer llamadas telefónicas de larga distancia, o que no se pudiesen difundir programas de televisión; además, si los cortes de energía eléctrica ocurriesen con frecuencia durante todo el año, la situación no sería nada atractiva para el responsable de brindar estos servicios. Por tal razón, muchas estaciones transmisoras y receptoras cuentan en sus propias instalaciones con un sistema de alimentación de energía ininterrumpida; es decir, que si la energía eléctrica comercial es interrumpida, la conmutación a el sistema de respaldo debe ser rápida y suave, sin ninguna interrupción en el servicio.

Según lo anterior, las estaciones terrenas mas importantes de una red de comunicaciones vía satélite tienen su propia subestacion de eléctrica. En condiciones normales, las estaciones obtienen la energía directamente del sistema de distribución comercial, y la subestacion regula los niveles de voltaje y corriente para alimentar los equipos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, si la energía eléctrica es interrumpida, la subestacion queda también sin energía, y entonces es preciso que algún sistema de respaldo entre en operación inmediatamente; la potencia que este sistema de respaldo debe proporcionar es muy grande; entre 50 y 100 KVA, de la cual aproximadamente un 80% es consumida por los amplificadores de potencia. Los sistemas de respaldo mas comunes son inmensos bancos de baterías y motores alternadores con volantes de inercia; es muy importante que estos equipos tengan un mantenimiento adecuado y que las reservas de diesel para los motores estén siempre aseguradas.

BIBLIOGRAFIA

Estrada Salazar Fernando, "Diseño de enlaces de comunicación vía satélite", UANL/FIME, Mexico, 1996.

Neri Vela Rodolfo, " Satélites de comunicaciones", Mc Graw Hill, México, 1989.

Shipman James, Wilson Jerry, "Fundamentals of physical science", Heat, USA, 1992.

