



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"COMUNICACIONES, SATELITES GEOESTACIONARIOS,
ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO"

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

ARNULFO HERRERA CUIRIZ

257136



ASESOR: ING. RODOLFO LOPEZ GONZALEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



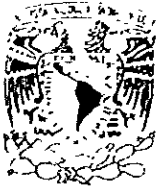
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRÉSPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario.

Comunicaciones. Satélites geoestacionarios, estructura y funcionamiento.

que presenta el pasante. Arnulfo Herrera Cuiriz
con número de cuenta. 9006799-0 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de septiembre de 2000

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Ing. Jorge Ramírez Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>IV</u>	<u>Ing. Alfonso Contreras Márquez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Rodolfo López González</u>	<u>[Firma]</u>

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres, Maria Asención y Arnulfo. Como un testimonio de mi infinito aprecio y agradecimiento por toda una vida de esfuerzos y sacrificios, brindandome siempre cariño y apoyo cuando más lo necesité. Deseo de todo corazón que mi triunfo profesional lo sientan como suyo. Con amor, admiración y respeto.

A mis hermanos, Conrado, Gregorio, Maricela y Jesus.

A mis sobrinos, Jaqueline y Luis Javier.

A mis amigos, en especial a Esperanza.

A todos mis profesores.

A todas aquellas personas que me apoyaron durante mi carrera.

INDICE

INTRODUCCION

1 ANTECEDENTES HISTORICOS

2 LOS PIONEROS

3 SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SATELITES DE COMUNICACION.

3.1 SISTEMA DE ANTENAS.

3.1.1 ANTENAS DE TIPO GLOBAL.

3.1.2 ANTENAS DE TIPO HEMISFERICO.

3.1.3 ANTENAS PARA COBERTURA DE ZONA.

3.1.4 ANTENAS DE TIPO PUNTUAL O HAZ PINCEL.

3.1.5 ANTENAS DE TELEMETRIA Y COMANDO.

3.2 SISTEMA DE COMUNICACION

3.2.1 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN FRECUENCIA

3.2.2 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN EL TIEMPO

3.3.3 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CODIGO

3.3.4 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN EL TIEMPO CON CONMUTACIÓN EN EL SATELITE.

3.3.5 FRECUENCIA ASIGNADA Y REUTILIZACION DE FRECUENCIA.

3.3 SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

3 3.1 CELDAS SOLARES.

3.3.2 BATERIAS.

3.4 SISTEMA DE CONTROL TERMICO.

3.5 SISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION.

3.6 SISTEMA DE PROPULSION

3.7 SISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO.

4. SISTEMA ESTRUCTURAL.

CONCLUSIONES

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

En octubre de 1945, Arthur C. Clarke, expresó la posibilidad de enlazar los canales telefónicos así como transmitir programas desde Satélites artificiales. El expresó particularmente las propiedades especiales de una órbita ecuatorial y circular a una distancia de aproximadamente 42,000 Km. Desde el centro de la tierra. El mencionó lo siguiente: Se observará que una orbita con un radio de 42,000 Km. Tiene un periodo de 24 horas exactamente. Un cuerpo ubicado en dicha órbita y si su plano coincide con el ecuador de la tierra, girará junto con la tierra y aparecerá como si estuviera estacionado sobre el mismo punto en el planeta. (Figura 1).

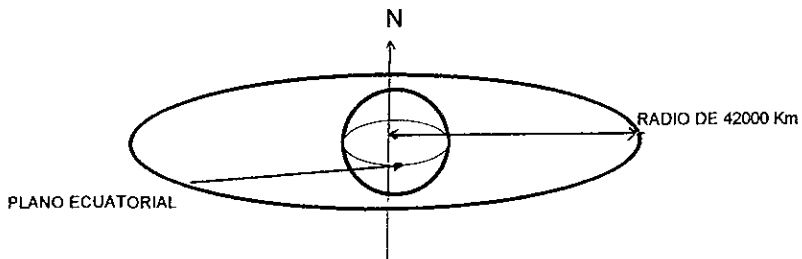


Figura 1. Órbita Geoestacionaria

Arthur C. Clarke sugería que un solo transmisor de televisión localizado en un satélite Geoestacionario serviría a una nación completa tomando el lugar de las emisoras terrestres de VHF o UHF. Clarke mencionaba que para un servicio que cubriera todo el mundo se necesitaría tres estaciones aunque podrían utilizarse un número mayor:

Con solo tres Satélites pueden ofrecerse facilidades para enlaces punto a punto de una red global telefónica (figura 2).

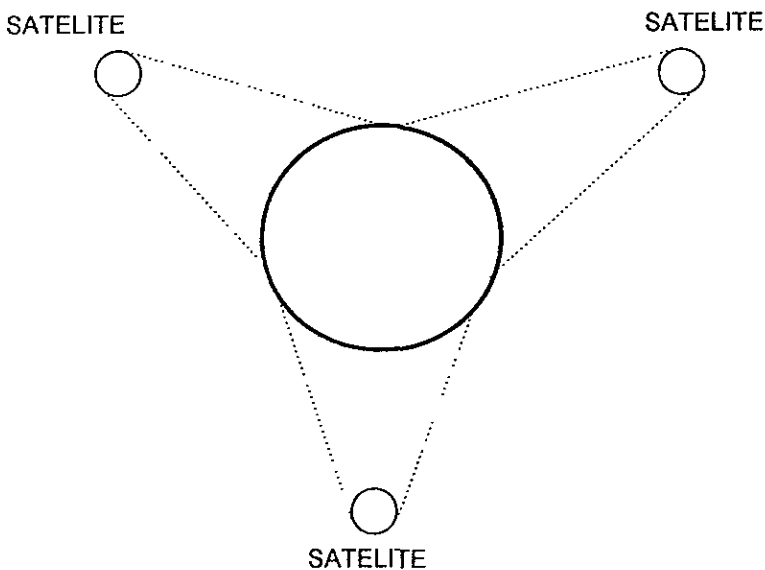


Figura 2. Cobertura mediante 3 Satélites

De manera esencial, un satélite de comunicación es un radio repetidor en el cielo (Transponder).

Un sistema satelital consiste de un transponder, una estación terrena controla su operación y una red de usuarios de las estaciones terrenas que proveen facilidades para la transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones a través del sistema satelital

Los satélites de comunicación han alcanzado en la actualidad, una etapa muy interesante en su desarrollo. Así, se convirtieron en el instrumento elegido para muchos servicios de comunicación, no sólo porque con relativa facilidad pueden cubrir largas distancias, sino también porque se les puede hacer funcionar en una gran gama de frecuencias muy elevadas.

Los satélites de comunicación están formados por sistemas electrónicos y mecánicos los cuales, en conjunto forman el funcionamiento y estructura de los satélites que se utilizan para la comunicación de información entre dos o más puntos en la superficie terrestre.

En general todos los satélites funcionan bajo el mismo principio y constan de varias partes comunes, independientemente de su objetivo y en la órbita alrededor de la tierra. Aunque hay diferencias fundamentales entre ellos, los más indispensables son por ejemplo: Celdas solares para alimentarse de energía,

antenas para transmitir información a ciertos puntos de la superficie de la tierra y también para poder recibir instrucciones o cualquier otro tipo de señales desde ellos, así como medios de propulsión para corregir la órbita, posición u orientación respecto a la tierra.

Un satélite tiene una vida útil de 8 a 14 años de duración, esto quiere decir que, en ese tiempo, el satélite va a estar transmitiendo y recibiendo eficientemente información hacia la tierra, otra causa de la duración es la cantidad de combustible, el cual es necesario para la orientación y la corrección de la posición del satélite. Dependiendo de la optimización de su combustible, el satélite permanecerá en su posición, una vez cumplido su cometido; por medio de un motor de apogeo sale de la órbita geoestacionaria y se pierde en el espacio, por ser más fácil y menos costoso que recuperarlo hacia la tierra.

Los satélites de comunicaciones están constituidos por 2 plataformas principales:

- Módulo de antenas, que es el encargado de soportar todo el conjunto de antenas, así como el despliegue de las mismas hasta su posición de orientación final hacia la tierra
- La estructura externa que esta formado por el armazón principal que soporta todo el peso de los dispositivos electrónicos, que componen a los diferentes sistemas que conforman al satélite.

1. ANTECEDENTES HISTORICOS

En las comunicaciones y la radiodifusión ha habido cuatro eras bien definidas y estas son

- a) La era del cable 1840 - 1900 (la primera), el telégrafo submarino;
- b) La era de la telegrafía sin hilos, el transmisor telegráfico de onda larga;
- c) La era de la radiodifusión sonora con fines de entretenimiento, 1940;
- d) La era de la radiodifusión televisiva, 1939 - 1946, hasta nuestros días.

Ahora se puede incluir la era de los satélites, que se inició en 1957, y la era de las comunicaciones por fibra óptica. Cada una de las épocas mencionadas se ha ganado un lugar en la historia y, cada una a su manera, ha sido responsable de la creación de un nuevo mercado de comunicación y radiodifusión, estimulando con ello una creciente demanda global.

En 1945, después de la segunda Guerra Mundial, en el *Wireless World*; boletín de la Sociedad Interplanetaria Británica (BIS), apareció un artículo denominado "Extra - terrestrial Relays" escrito por el autor Arthur C. Clarke, poco conocido en aquel entonces. En tal artículo exponía un proyecto virtual para una nueva era en la difusión de la radio, la televisión y las comunicaciones en general; estableciendo los principios de la comunicación vía satélite en órbita geoestacionaria.

En su artículo, Clarke escribió lo que ha llegado a aceptarse como la más extraordinaria profecía del siglo XX. Esta fue su detallada hipótesis de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la tierra parecería que no se moviesen. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas, ya que su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para poder utilizarlos se reduciría, en relación con el uso en otras órbitas. Además, con sólo tres satélites con una separación exacta de 120° , y viajando de oeste a este por encima del ecuador en esa órbita tan especial, podrían proporcionar un sistema de comunicación internacional de radio y televisión.

Lo que esto significa que una señal de radio o televisión, podría enviarse al otro lado del mundo simplemente mediante un satélite de tres transmisiones ascendentes y tres transmisiones descendentes en una secuencia alternativa.

Para que la idea de Clarke pudiera desarrollarse, debían de cumplirse varios requisitos. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación de la tierra; además, para que no perdiera altura y complementar una vuelta cada 24 horas, debía estar a una altura de 35 786 Km de altura sobre el nivel del mar con una velocidad constante de 3.075 Km/seg, siguiendo una órbita circular alrededor de la tierra. (figura 1.1).

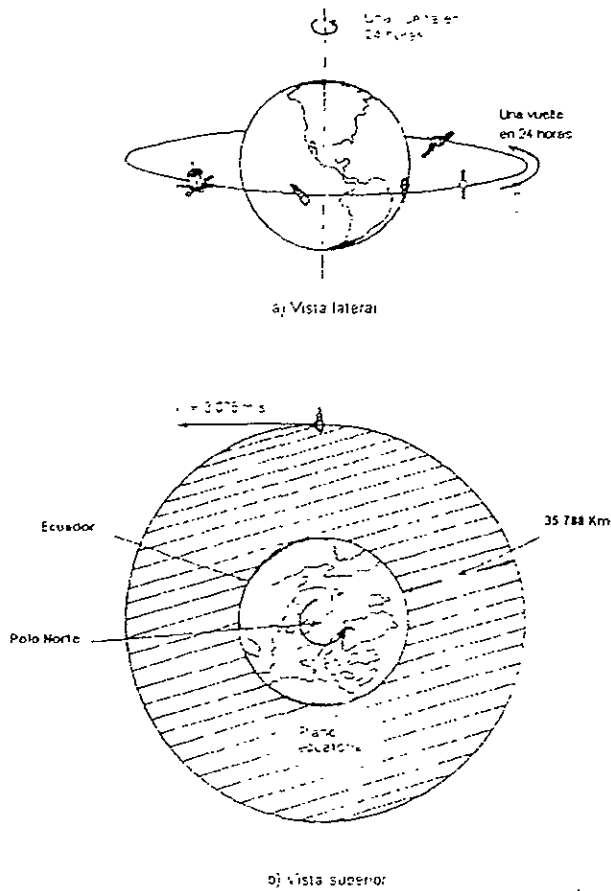


Figura 1.1 Órbita geoestacionaria y la posición en la que se encuentra dicha órbita.

La idea de Clarke se anticipaba mucho a cualquier tecnología existente en aquella época, pero en 1957, la CEI (entonces la URRS), lanzó el SPUTNIK 1, un satélite que daba la vuelta a la tierra cada 90 minutos. Aunque de diseño primitivo comparado con los satélites que se desarrollaron varios años después. Luego de varias pruebas con algunos otros satélites, al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del mundo, llamado SYNCOM. Poco más tarde, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Índico), intercomunicando al mundo; era el año de 1968 y los sueños de Clarke se habían convertido en realidad, 23 años después de haber publicado sus ideas.

La órbita en cuestión recibe el nombre de órbita geoestacionaria, pero con frecuencia muchos actores e investigadores también se refieren a ella como el Cinturón de Clarke, en reconocimiento a su promotor. En la actualidad, ésta es la órbita más congestionada alrededor de la tierra; muchos propietarios de satélites, si no es que todos, quieren estar ahí por varias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas; meteorológicos, militares, experimental y de comunicaciones.

La fórmula desarrollada por los científicos con el objeto de determinar la altura de la órbita geostacionaria, para los satélites que pareciesen fijos desde la superficie de la tierra fue:

$$T = (2\pi) / \left[\frac{GM}{(r + h)^3} \right]^{1/2}$$

donde.

T = Período de rotación de la tierra = 23 hrs, 54 min, 4.09 seg.

G = Constante de la gravitación universal = $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$

M = Masa de la tierra = $5.98 \times 10^{24} \text{ Kg}$

r = Radio terrestre = 6378.16 Km.

h = Altura de la órbita.

Despejando la altura de la fórmula anterior tenemos que h = 35 786 04 Km de altura sobre el nivel del mar.

2. LOS PIONEROS

Los primeros proyectos de sistemas de telecomunicación mediante satélites artificiales ya se estudiaban en EE.UU., URSS y U.K. en 1958; sin embargo, en 1960 los cohetes disponibles todavía no podían alcanzar alturas superiores a los 10,000 Km. A mucha menor altura, el satélite Courier I-B orbitaba en torno a la tierra equipado con receptores, magnetófonos y transmisores, de modo que podía recibir y grabar los mensajes radiados hacia él, para retransmitirlos en otro momento de su vuelo, tras recibir por telemando la correspondiente petición desde la zona de recepción. Fue un veloz mensajero espacial.

En el mismo año había sido puesto en órbita el ECO 1, Un globo de 30 m de diámetro y superficie metalizado con una finísima capa de aluminio. Reflejaba las señales de radio que se le enviaban para ser recibidas en otros lugares desde donde fuese visible. En 1964 se lanzó el ECO II, de 41 m de diámetro y 258 Kg de peso, que volaba a unos 1 300 Km de altura, completando una órbita cada 111 minutos. Este globo conservó su forma después de perder la presión, y sirvió como reflector durante largo tiempo. La idea de los repetidores pasivos en órbita no pasó de la fase experimental.

El primer satélite que funcionó como repetidor activo propiamente dicho fue el Telstar en 1962. Como cualquier repetidor terrestre, recibía señales de radio, y tras de cambiar el valor de su frecuencia (para no interferirse a sí mismo) y aumentar su potencia (amplificarlas), las transmitía "instantáneamente" para su recepción en tierra. El satélite se movía en una órbita elíptica, apareciendo y desapareciendo por el horizonte varias veces al día.

El Syncom 1 fue el primer satélite que permanecía aparentemente fijo en el cielo. En realidad sufría una oscilación diaria de 66° en sentido Norte - Sur, puesto que se situó en órbita circular geosíncrona inclinada unos 33° respecto al plano del ecuador. Quedó inútil al final del lanzamiento. En el mismo año 1963 le siguió el Syncom II volando en una órbita semejante al primero y cursando con éxito diversos tipos de comunicaciones.

El tercer satélite geosíncrono que llegó a funcionar satisfactoriamente en 1964 fue el Syncom III. Situado sobre el pacífico sirvió para enviar programas de televisión con imágenes de las olimpiadas desde Tokio a la costa Oeste de EE.UU.

Una vez demostrada la viabilidad de los satélites geosíncronos para las comunicaciones transatlánticas, se constituyó la primera corporación estadounidense para su explotación comercial, COMSAT, y en breve plazo nació la

primera y más importante entidad internacional mundial promotora y gestora de satélites de comunicación, INTELSAT.

El pájaro del Alba (Early Bird) o Intelsat 1, fue en 1965 el primer satélite de comunicaciones de uso público, se situó en órbita geosíncrona encima de las costas brasileñas. El también llamado pájaro Madrugador, era un cilindro de unos 40 Kg, diseñado para prestar servicio durante 18 meses, pero funcionó satisfactoriamente durante más de 3 años

Por su parte el 23 de Abril de 1965, la URSS puso en órbita un satélite de comunicaciones no geoestacionario para su propio uso nacional, el Molnya 1 (Relámpago) que trazaba una elipse con alojamiento máximo (apogeo) de 39,000 Km, en un plano inclinado 65° respecto al del ecuador. De este modo, se lograba la cobertura incluso de la zona polar, que no es visible desde la órbita geoestacionaria. El sistema se completó hasta un total de tres satélites para resolver la continuidad del servicio, al constar siempre con alguno de ellos en el arco visible de la órbita.

En 1968 INTELSAT ya disponía de un satélite sobre cada uno de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico, constituyeron la primera red de telecomunicaciones por satélite de cobertura mundial y que permitió, por ejemplo, transmitir por televisión, y en directo para todo el planeta, la llegada del Hombre a la Luna.

Hoy en día INTELSAT utiliza más de una docena de satélites que juegan un importante papel en las relaciones internacionales. Por tales artefactos, junto con miles de conversaciones telefónicas, se transmite información de todo tipo, TV e incluso videoconferencias, completando las redes públicas y haciendo posibles otras redes para aplicaciones especiales no públicas.

Canadá fue el primer país que dispuso de su propio satélite geosíncrono público doméstico, en un esfuerzo por cubrir la necesidad de comunicaciones en zonas dispersas, aisladas y con orografía difícil. La organización TELESAT nacida en 1969 lanzó el primer satélite de su serie ANIK en 1972

En EE.UU., la Western Union hizo lo mismo con el Westar 1 en 1974, y siguieron otras grandes empresas y consorcios con sus propios satélites.

Otras de las primeras regiones que se beneficiaron de las posibilidades de los satélites fue Alaska. La nieve, el hielo, las montañas y las grandes extensiones inhóspitas, planteaban dificultades enormes para establecer una red terrestre convencional de telecomunicaciones

Aquellas pequeñas aldeas remotas, disponen ahora de teléfono, dos canales de TV y otros servicios como teleconferencia, transmisión de datos entre computadores, facsímil, etc. utilizando un satélite dedicado para estos casos, el *Aurora (satcom V)*.

3. SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SATELITES DE COMUNICACION.

Los satélites son sistemas complejos y delicados, los cuales están formados por varios sistemas; cada uno es importante, pues el mal funcionamiento de cualquiera de ellos podría significar la falla parcial o total del conjunto. El satélite requiere de energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de mantener su temperatura, ser resistente al medio ambiente y, lo más importante, poder comunicarse con la tierra.

SISTEMA DE UN SATELITE DE COMUNICACION	
SISTEMA	FUNCION
Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia
Comunicaciones	Amplificar las señales recibidas y cambiar su frecuencia.
Energía Eléctrica	Suministrar electricidad, con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
Control Térmico	Regula la temperatura, tanto externa como interna del conjunto.
Posición y Orientación	Determina la posición y orientación del satélite.
Propulsión	Se encarga de los incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y la orientación del satélite.
Rastreo, Telemetría y Comando	Intercambia información con el centro de control de la tierra para conservar el funcionamiento del satélite.
Estructura	Es donde se encuentran todos los equipos y da rigidez al satélite.

3.1 SISTEMA DE ANTENAS

Las antenas tienen como función recibir las señales de radiofrecuencia, que provienen de las estaciones terrenas transmisoras y , una vez que son procesadas estas señales en el satélite, las retransmiten de vuelta hacia la tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos las antenas que reciben son diferentes a las que transmiten al mismo tiempo; para hacer posible ésto se utilizan frecuencias y elementos de alimentación diferentes, los cuales son denominados como alimentadores, que son antenas de corneta conectadas a guías de onda, que emiten energía hacia el reflector parabólico o, bien, la capta desde este último para entregarsela a los equipos receptores.

En el caso de que el sistema de antenas fallara, por ejemplo, no se encontrara bien orientado hacia la superficie de la tierra debido a una falla mecánica, entonces no sería factible transmitir correctamente desde el satélite ni recibir las señales provenientes de las estaciones terrenas.

Las antenas 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.

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 más pequeña. La razón es que, entre más grande es una antena, tiene la capacidad de concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero la irradia con niveles muy altos de densidad de potencia, por lo que facilita su diseño y reduce costos de las estaciones terrenas receptoras. Además, entre más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constante trabaje, mayor es la concentración de energía; siendo ésta 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.

Existen satélites que tienen varias antenas con características distintas y con finalidades diferentes, por ejemplo, en la (figura 3.1.1), se muestra un satélite de comunicaciones internacionales, que tiene ocho antenas para poder cubrir una vasta extensión territorial e intercomunicarla eficientemente. De estas ocho antenas, dos son globales, dos hemisféricas, dos de zona y dos puntuales.

A la cobertura de cada haz se le denomina huella de iluminación, la cual está limitada por un contorno muy irregular. La irregularidad de estos contornos está

hecha a propósito por los diseñadores de antenas del satélite, que lo hacen con el objetivo de no desperdiciar potencia, transmitiéndola a puntos geográficos en los que no hay tráfico o estaciones terrenas transmisoras y receptoras, y así se aprovecha mejor, concentrándola para que ilumine sólo los lugares donde se encuentran 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 se le da el nombre de **haz 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. Para entender mejor los tipos de antenas, se exponen en la (figura 3.1.2).

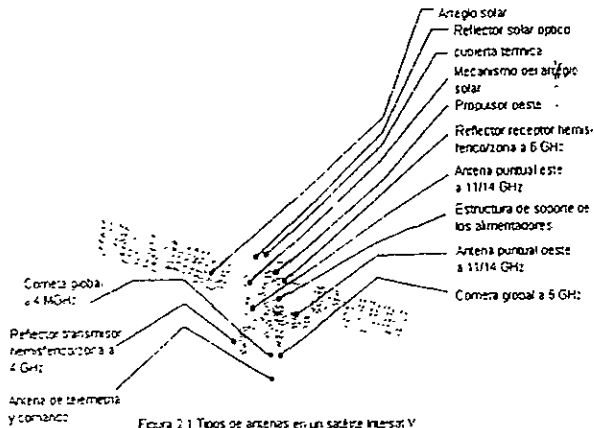


Figura 2.1 Tipos de antenas en un satélite espacial V



Figura 3.1.2 Cobertura de los haces de iluminación: 1) Haz puntual 2) Haz de zona y 3) Haz hemisférico. El Haz global tiene la cobertura de los dos haces hemisféricos.

A continuación se explica cuáles son estos tipos de antenas de acuerdo con su uso:

3.1.1 ANTENAS DE TIPO GLOBAL (Antenas de Corneta).

Son las que cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre, que pueden verse desde la posición del satélite o, lo que es lo mismo, pueden recibir desde cualquier estación transmisora que se encuentre dentro de los límites de esa zona, al igual que pueden transmitir hacia cualquier estación receptora que esté dentro del mismo contorno, y sus frecuencias de operación están dentro de la banda C y Ku.

3.1.2 ANTENAS DE TIPO HAZ HEMISFERICO (Antenas de plato o Parabólicas).

Como su nombre lo indica, son de forma parabólica y tienen la capacidad de cubrir dos hemisferios diferentes o continentes. Vistos desde la posición del satélite, su huella de iluminación es mucho más pequeña que la de tipo global. A diferencia de la anterior, pueden trabajar dentro de la banda C o Ku, pero no en las dos al mismo tiempo.

3.1.3 ANTENAS PARA COBERTURA DE ZONA (Tipo parabólico o de tipo Planar).

Este tipo de antena sólo puede irradiar energía hacia zonas muy pequeñas, siendo su huella de iluminación mucho más pequeña que las anteriores y su frecuencia de operación es de la banda C.

3.1.4 ANTENAS DE TIPO PUNTUAL O HAZ PINCEL (Tipo Parabólico).

Estas antenas tienen la peculiaridad de concentrar su potencial en un punto sobre la superficie terrestre, y su frecuencia de operación es de la banda Ku.

3.1.5 ANTENAS DE TELEMETRIA Y COMANDO (Tipo Monoplanar o Bicónica).

Esta antena emite, más o menos, con la misma intensidad en todas direcciones, de esta forma, aún cuando exista un cambio brusco de orientación, su comunicación con el centro de control no se ve interrumpido. Esta antena se encarga de recibir las señales que contienen órdenes emitidas por el centro de control de la tierra, con el objeto de que efectúe alguna corrección a bordo; además de ser responsable de enviarle al centro de control señales que contienen información sobre el estado de operación del satélite, con el fin de que la tierra se esté al tanto de lo que pasa en su interior, dónde está y cuál es su condición de funcionamiento en general

3.2 SISTEMA DE COMUNICACIONES

Las señales de comunicaciones, llámense de telefonía, televisión e información digital que se reciben por satélite, entran a él a través de sus antenas las cuales, a su vez, se encargan de retransmitir toda la información hacia la tierra, una vez que ha sido procesada debidamente la información. 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 estén llegando simultáneamente. El sistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros y multiplexores.

En el diagrama de la (figura 3 2.1), se puede observar la relación que hay entre las antenas y el equipo de comunicaciones. En él, sólo se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el sistema de comunicaciones; en la mayoría de los casos, estos equipos están repetidos para que, en el caso de que uno de ellos falle, exista la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y transmisión; para que efectúe 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 salida de la antena receptora, hasta la entrega de la transmisora se le da el nombre de **Transponder**, es decir, que el sistema de comunicaciones consta de muchos

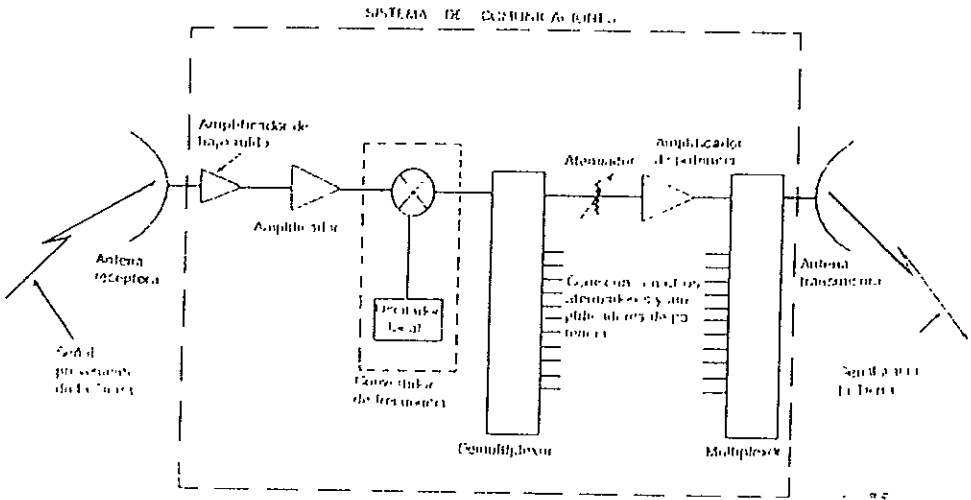


Figura 3.2.1 Relación entre los sistemas de antenas y comunicaciones.

transpondedores, y su número depende del diseño del satélite. Este sistema, incluyendo el de las antenas, es de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones, que son los que planean el uso del satélite, o sea, que asignan las trayectorias o transpondedores en los que deben ir los diferentes servicios, como canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia, así como el espacio que deben ocupar dentro de cada amplificador.

Las señales provenientes de la tierra que entran por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, de telefonía o de datos, los cuales son enviados en diferentes frecuencias; al rango de frecuencias que hay, entre la frecuencia más baja y la más alta de las transmitidas, se le denomina **Ancho de Banda**. Para que un equipo sea capaz de trabajar dentro de un rango mayor de frecuencias su ancho de banda debe ser mayor; por ejemplo, si se trata de un equipo de recepción, puede recibir con la misma calidad más canales de televisión, telefonía o datos que otro, cuyo ancho de banda de operación sea menor.

Como se mencionó anteriormente un satélite puede tener varias antenas receptoras, o quizá solamente una, dependiendo de su diseño y aplicación, por tal motivo cada una de ellas debe ser capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales de información, que posteriormente serán amplificados por separado en distintos transpondedores. Es decir, tanto las antenas receptoras como las transmisoras, tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las

frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente en las bandas C y Ku. En cada una de estas bandas, el rango de frecuencias disponibles, es de 500 Mhz para transmisión y 500 Mhz para recepción. En la actualidad existen satélites denominados híbridos, que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente en las dos bandas de frecuencia, tanto en la banda C, como en la banda Ku, de esta forma se duplica la capacidad en el número de canales que pueden manejar al mismo tiempo.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la tierra hacia el satélite están entre 5.925 Ghz y 6.425 Ghz, con una frecuencia central de 6.175 Ghz, mientras que en la banda Ku, las frecuencias están entre 14 Ghz y 14.5 Ghz y su frecuencia central es de 14.25 Ghz. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias, pues su ancho de banda de recepción es igual o mayor a 500 Mhz.

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 inferior y superior, para el caso de la banda C, son respectivamente, 3.7 Ghz 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 es representado con la nomenclatura 6/4 Ghz, que indica que la señal sube al satélite con frecuencias cercanas a los 6 Ghz y que baja

con frecuencias cercanas a los 4 Ghz. En el caso de la banda Ku, las frecuencias satélite-tierra están entre 11.7 Ghz 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 sistema de comunicaciones, puesto que unos están diseñados para trabajar en la banda C y otros para hacerlo en la banda Ku.

En la (figura 3.2.2), se muestra una 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 independientemente, por lo que la capacidad total del satélite en esta banda C de operación sería igual a 12 canales.

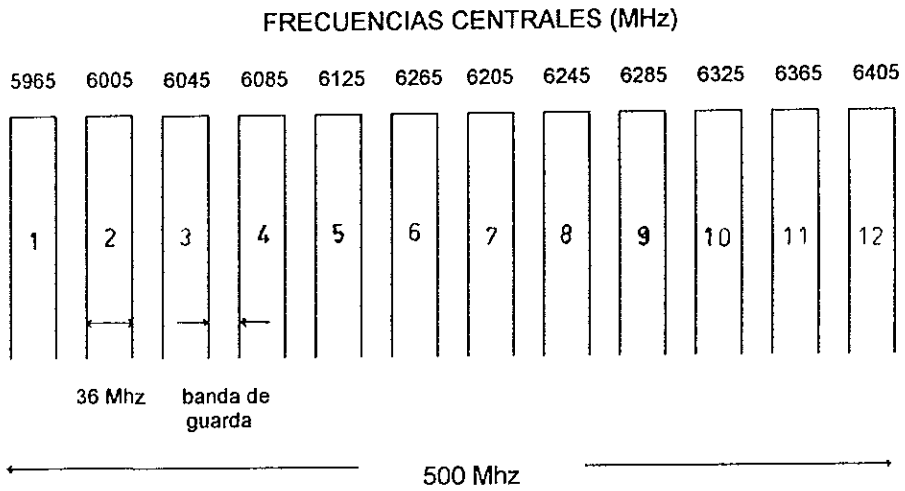


Figura 3.2.2 Ancho de banda de un satélite que opera en la banda C.

La antena receptora del satélite no capta solamente las frecuencias que corresponden al rango de uno de los transpondedores, sino todas las frecuencias de los 12 transpondedores. Para la antena esto no presenta ninguna dificultad, pero no es fácil construir aparatos electrónicos de alta potencia, que realicen sus funciones de amplificación óptimamente con todas esas señales al mismo tiempo. Por tal razón, se deben aislar para procesarlas y amplificarlas por separado, y es por lo que se debe dividir 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.

En la (figura 3.2.3) anterior, el primer dispositivo electrónico importante que encuentran las señales recibidas por la antena, es un **Amplificador de Bajo Ruido**, con poca potencia de salida; este aparato genera internamente muy poco ruido, que se suma a las señales originales que entran a él para la amplificación. Todos los dispositivos electrónicos generan ruido, la razón principal es el calentamiento; este término se emplea para identificar a las señales nuevas de diversas frecuencias, que son generadas interna e inevitablemente por el aparato. Por ésto, es importante que el ruido generado por este primer dispositivo de amplificación común, sea lo más bajo posible y, de ninguna manera, comparable en magnitud a ninguna de las débiles señales que están entrando en él.

El amplificador de bajo ruido tiene un ancho de banda de 500 Mhz, pues debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo las señales recibidas por la antena, antes de que se proceda a separarlas entre sí, por medio de filtros, para realizar las siguientes etapas del proceso que lleva a cabo el sistema de comunicaciones. Del funcionamiento correcto de este dispositivo depende que fluya la corriente dentro del satélite y, por lo tanto, se debe contar con su duplicado; esto es, el amplificador de bajo ruido es un equipo redundante, de tal forma que si uno de los amplificadores se descompone, mediante un conmutador se transfiere el enlace a otro que esté en condiciones óptimas de operación. Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente, continuarán su trayectoria a lo largo del transpondedor.

Hasta este punto sólo se ha aumentado ligeramente el nivel de potencia de las señales. Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como **Convertidor de Frecuencia**, que es un oscilador local; su función es multiplicar las señales que entran por otra, generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las que entraron en cuanto a su contenido, pero han sido desplazadas a frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico. Una vez que se amplificó y cambió la frecuencia de las señales, se procede a separarlas en grupos o en bloques; los cuales contienen canales de voz, canales telefónicos, de datos, o alguna otra variante. Esta separación de grupos o bloques se realiza con un **demultiplexor**, que tiene un sólo conducto de entrada y

varios de salida. En el demultiplexor entra la información de 500 Mhz de ancho de banda, y en su interior, con la ayuda de filtros, se separan los canales en bloques de 36 Mhz cada uno. Después, cada bloque pasa por una etapa de amplificación llevada a cabo por un **amplificador de potencia**, y luego 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.

Después de cada salida del demultiplexor hay un atenuador o resistencia variable; que sirve para disminuir a control remoto y, en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia. Esta regulación de la intensidad de entrada permite operar al amplificador de potencia en distintas condiciones o punto de operación; en pocas palabras, se puede controlar la cantidad de potencia que salga de él.

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 pase ésto, la potencia total de las señales que entran a ellos debe tener un valor determinado, como se muestra a continuación en la (figura 3.2.3).

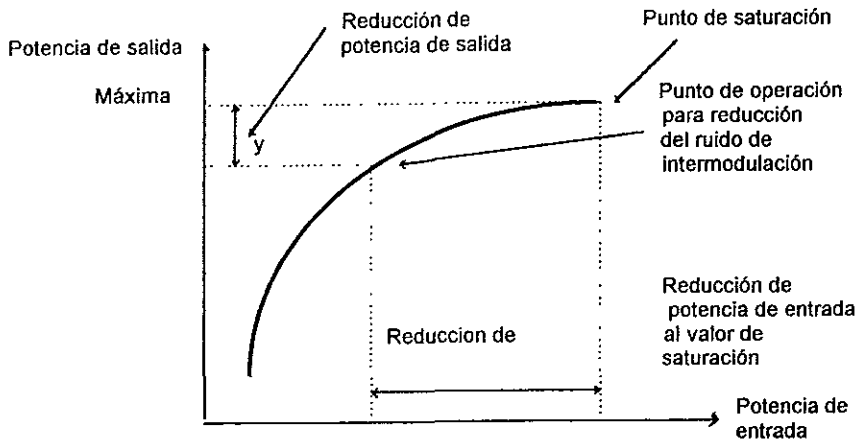


Figura 3.2.3 Curva característica de un amplificador de potencia

También, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mejor resultados en la etapa de amplificación (amplificador de bajo ruido), ya que la relación entre la potencia de la señal amplificada y la potencia del 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.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada **portadora**. Esto es, que cada canal de información, de televisión, etc., tiene su propia frecuencia portadora. En la (figura 3.2.4) se muestra como está conformado un transponder 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 varias partes.

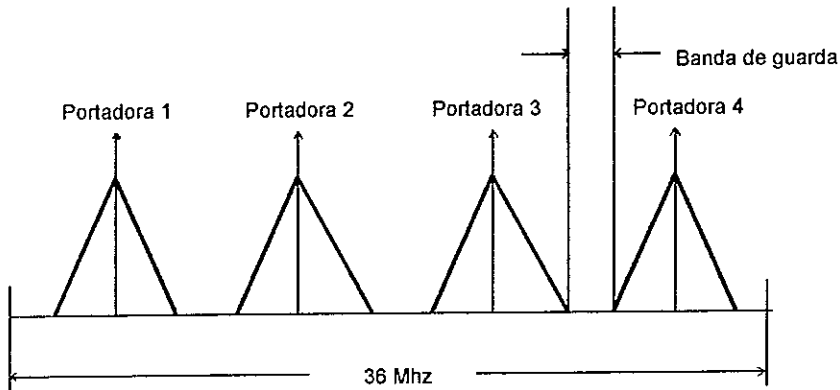


figura 3.2.4 Posible configuración de la ocupación del espacio de frecuencias de un transpondedor de 36 Mhz.

En la figura anterior, cada triángulo representa una señal de telefonía que contiene 132 canales telefónicos individuales, a los cuales se les asigna su propia frecuencia portadora. La guarda entre señales se deja para reducir la interferencia entre ambas.

Otro factor que se considera en un transponder es el **ruido de intermodulación**, que es producido cuando el transponder se encuentra compartido por dos o más señales portadoras en él, por lo cual, la característica de entrada y salida del

amplificador de potencia es alineal, lo que genera un número de señales adicionales e indeseables que, a la salida, se suman a la información original, lo que provocará una distorsión. A toda esta gama de señales que se producen adicionalmente, se le da el nombre de ruido de intermodulación y su intensidad es cada vez mayor y más dañina, conforme se trata de obtener más y más potencia a la salida del amplificador, hasta llegar a un máximo. Tal es la razón de que sea necesario operar al amplificador de potencia en un punto 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 de salida. Esto es posible con ayuda de los atenuadores o resistencias variables, las cuales permiten regular la intensidad de las portadoras y entregar menos o más amplificación de potencia, con un nivel aceptable de ruido de intermodulación.

Al hacer más 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 su efecto sobre la información original; por lo tanto, mientras más portadoras se quieran amplificar con el mismo dispositivo al mismo tiempo, será preciso operar en un punto cada vez más bajo del de saturación, y será menor la cantidad de potencia que se pueda aprovechar a la salida.

El diagrama de bloques de la (figura 3.2.1) es básico, y puede haber distintas versiones, con ligeras modificaciones, como se puede ver en la (figura 3.2.5)

Donde se observa que ya no hay solamente un demultiplexor y un multiplexor, sino dos de cada uno, con una capacidad igual a la mitad de la que tiene el diagrama de la (figura 3.2 1). 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 multiplexores; por medio de filtros, el demultiplexor 1 sólo permite el paso a los canales impares, y el demultiplexor 2 hace lo mismo con los canales pares; cada uno de estos canales impares o pares tiene un ancho de banda estandar de 36 Mhz, aunque también puede hacer otras variantes, dependiendo nuevamente del tipo y uso del satélite de que se trate.

Los canales impares que pasan por demultiplexor 1 serían los bloques de información contenidos en las ranuras 1, 3, 7, 9 y 11 de la (figura 3.2.2), y las pares pasan por el demultiplexor 2, que serían las ranuras 2, 4, 6, 8, 10 y 12, de la misma figura. Este tipo de separación de canales ofrece una ventaja importante con respecto al uso de un sólo 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.

Una vez amplificados cada uno de los canales de 36 Mhz, con su correspondiente reducción de potencia a la salida respecto a la saturación, los canales impares se juntan nuevamente mediante el multiplexor 1, que tiene 6 entradas y una salida, y a su vez sucede lo mismo con los canales pares, pero esta vez sucede lo mismo con

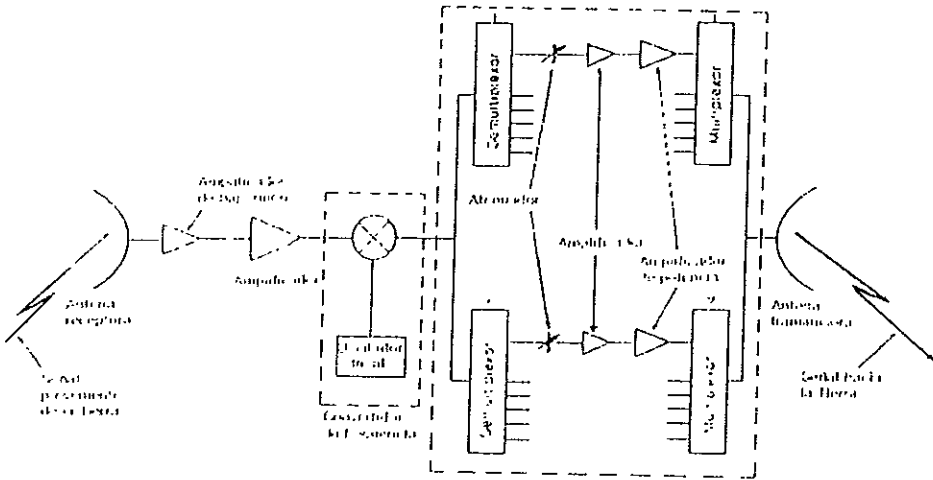


Figura 3.2.5 Diagrama y equipos del sistema de comunicaciones. Con dos demultiplexores y dos multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la interferencia.

los canales pares, pero esta vez es con el multiplexor 2. Posteriormente, los dos grupos pasan por un sumador de potencias, y el conjunto, nuevamente con un ancho de banda total de 500 Mhz, entra a la antena parabólica transmisora.

En la (figura 3.2.6) se muestra el plan de frecuencias y polarización de un satélite Spacenet. El satélite es híbrido; tiene 12 transpondedores angostos de 36 Mhz y 6 anchos de 72 Mhz en la banda C, así como 6 transpondedores de 72 Mhz en la banda Ku. Dichas señales de los transpondedores angostos referidos a la banda C son transmitidas hacia el satélite con polarización vertical y transmitidas hacia la tierra con polarización horizontal; para los transpondedores anchos en la banda C, se usa polarización horizontal en el enlace de subida y vertical en el de bajada; y en cuanto a los transpondedores en la banda Ku, las señales suben al satélite con polarización vertical y bajan con polarización horizontal.

En la (figura 3.2.7) se muestra la estructura modular del satélite Spacenet y la posición de los transpondedores de las bandas C y Ku, en relación con otros sistemas.

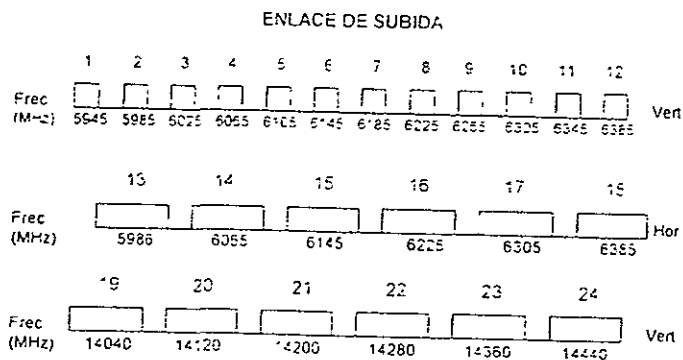
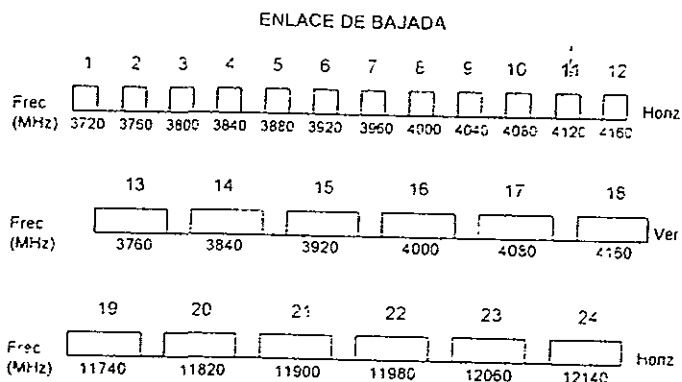


Figura 3.2.7 Posición de los transpondedores de las bandas C y Ku.

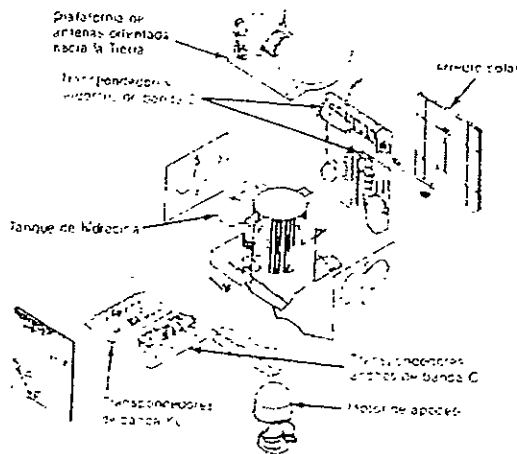


Figura 3.2.7 Posición de los transpondeodres de la banda C y Ku.

Se ha hecho referencia a un conjunto de señales de información que provienen de la tierra, ocupan un ancho de banda total de 500 Mhz, son procesadas por el sistema de comunicaciones del satélite y, finalmente, se retransmiten. Estas señales provenientes de diversos lugares geográficos llegan simultáneamente.

Se puede diferenciar entre tres tipos de enlace; 1) Punto - Punto, 2) Punto - Multipunto y 3) Multipunto - Punto. El primero une sólo a dos puntos geográficos, por ejemplo, el uso de una conversación telefónica, en cuyo caso el enlace es bidireccional. El segundo corresponde a un sistema de difusión o distribución de información, en donde la señal es generada en un solo punto, por ejemplo en el caso de un estudio de televisión, o en un centro de cómputo, se desea que sea recibida en muchos otros puntos, sin necesidad de que éstos respondan, o sea que el enlace es unidireccional, en forma de estrella. El tercero es lo inverso al caso anterior donde, en vez de diseminar una información en muchos puntos, se desea concentrarla de éstos en un solo punto específico; por ejemplo, se tienen varias estaciones terrenas transmisoras en todas las plantas generadoras de energía eléctrica, que transmitiesen la información más importante a una gran central de control de energía, ubicada en un punto clave, que la información recibida de las diferentes plantas, enviando órdenes y comandos a cada planta generadora según fuese necesario..

Para que no ocurra ningún tipo de conflicto con 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 en el tiempo y, por diferenciación de código; donde la primera es la más común.

3.2.1 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN FRECUENCIA (FDMA).

Se sabe que el ancho de banda total de 500 Mhz de un satélite se divide en varios transpondedores, con ranuras de 36 Mhz. Lo que significa que el amplificador de cada transpondedor puede darle cabida a una gran diversidad de información que ocupe en total un ancho de banda de 36 Mhz. Sin embargo, cada estación terrena que transmite tráfico para generar información que ocupe todo ese ancho de banda, y que pueda enviar con una sola frecuencia portadora determinada. Para ejemplificar lo anterior, supongamos que tenemos tres ciudades; una ciudad grande, otra de tamaño medio y por último una población rural, y supóngase que las tres quieren hacer uso del satélite. Es de entender que en la primera hay mayor demanda de conversaciones telefónicas, en la segunda hay una demanda menor y en la tercera, menos todavía. Por tal razón, las señales que se generan a cada instante, en cada uno de estos lugares, requieren distintos anchos de banda para que puedan transmitirse.

Podría ser que en la gran ciudad haya tanto tráfico telefónico de larga distancia que, al combinar el bloque con todos los canales telefónicos y modularlos, tenga un ancho de banda de 36 Mhz, en cuyo caso ocuparía todo un transponder en el satélite. De ser así, solamente habría una frecuencia portadora presente en el amplificador de potencia correspondiente y no se produciría ruido de intermodulación; ésto permitiría aprovechar al máximo la potencia de salida del

amplificador pero en realidad, es mucho más común tener agrupaciones de canales telefónicos, que ocupan menos de 36 Mhz de ancho de banda.

Para el ejemplo, supóngase que a la gran ciudad le asignamos la letra X, a la de tamaño medio la letra Y, y a la población rural la Z. Si la suma de los anchos de banda que requieren las tres señales individualmente, da un total cercano a los 36 Mhz, entonces las tres ocuparán simultáneamente el mismo transponder del satélite, separadas por bandas de guarda, como se muestra en la (figura 3.2.9). 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 en frecuencia (FDMA),

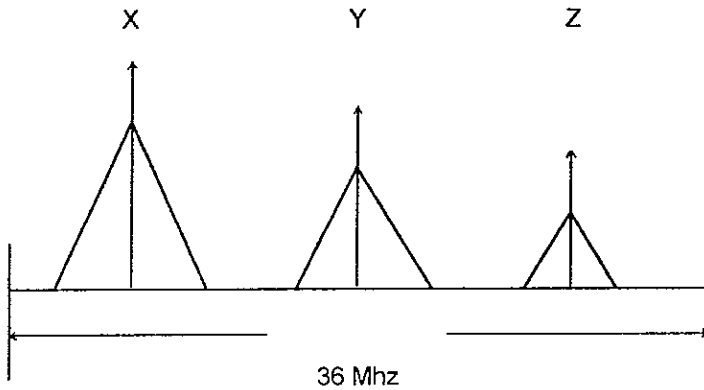


Figura 3 2.9 Ocupación de un transpondedor de 36 Mhz con FDMA.

ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencia, asignadas a cada una de ellas. La configuración es rígida e invariable, pues cada estación debe transmitir con 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 tal razón, también se le llama acceso múltiple por división en frecuencia, con **asignación fija**.

Pero cuando el tráfico generado en los puntos geográficos que comparten un transpondedor es intermitente y esporádico, la capacidad de ese transpondedor no se estaría aprovechando con eficiencia si se empleara 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 terrena es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para establecer comunicación; en el momento que deja de transmitir, esa ranura se libera y queda disponible para otra de las estaciones que la solicite temporalmente. Cuando la estación terrena que liberó una ranura quiera transmitir más información, podría darse el caso de que la

ranura de frecuencia que usó previamente dentro del amplificador, esté ocupada en ese instante por la señal de otras ranuras vacías en ese momento, y la estación terrena en cuestión podría hacer uso de cualquiera de ellas. La frecuencia de la portadora transmitida por cada estación terrena cambia en el tiempo, moviéndose de lugar en el espectro radioeléctrico del amplificador y, por supuesto, la estación debe estar debidamente equipada para hacerlo.

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 de destino para informarle qué se le va a transmitir y en qué frecuencia debe sintonizarse para que reciba la señal. Solamente hasta que la estación transmisora y la receptora hayan recibido la asignación de sus frecuencias de operación, se puede iniciar el enlace.

Existen muchos sistemas funcionando con asignación por demanda; uno de ellos es el denominado SPADE, usado por INTELSAT para darle servicio telefónico a los países que tienen poco tráfico entre sí pero, por supuesto, necesitan comunicarse ocasionalmente. El sistema SPADE no es más que un sistema DAMA internacional con algunas adaptaciones; consiste en un transpondedor de 36 Mhz ranurados en

800 secciones capaces de conducir simultáneamente 400 conversaciones telefónicas, (400 ranuras se emplean para los canales de ida y 400 para los de regreso), cada una de las ranuras tiene su frecuencia portadora y puede ser utilizada temporal e indistintamente por cualquiera de los que forman al sistema, sincronizándose con el sistema central de frecuencias mediante un canal digital de solicitudes.

Como en 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 le llama **canal único por portadora o SCPC**, un canal SCPC no necesariamente debe conducir telefonía analógica, sino que puede contener un canal telefónico digitalizado o un canal de datos de baja velocidad, transmitido con modulación digital.

Como norma general, SCPC con asignación por demanda se utiliza para comunicar puntos con tráfico ocasional, como zonas rurales o de poco intercambio entre sí. Para alcanzar puntos que generan tráfico permanentemente se emplea la asignación fija, y ésta puede ser SCPC cuando el tráfico es poco, pero constante o de **portadora multicanal**. 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 número total de canales que contenga; éstos pueden ser analógicos o digitales, con multiplexaje en

frecuencia o en el tiempo, respectivamente. Por ejemplo, puede hacer portadoras multicanal con 12 canales telefónicos cada una, otras con 24, 36, 48,..., y así sucesivamente, dependiendo del tráfico de cada estación terrena transmisora.

3.2.2 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN EL TIEMPO (TDMA).

El **acceso múltiple por división en el tiempo o TDMA** es una técnica totalmente digital, mediante la cual varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de él. A diferencia del de acceso múltiple por división en frecuencia, en esta técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, 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 demás estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno.

El tiempo T , que es asignado a cada estación, no es igual en todos los casos, puesto que algunas estaciones conducen más tráfico que otras y, la ranura de

tiempo que se le asigne debe ser más larga que la de las estaciones chicas. Estos tiempos asignados pueden ser fijos por estación, en cuyo caso se tiene acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija (figuras 3.2.10 y 3.2.11). O pueden variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exceso de tráfico (horas pico). En estas condiciones, es preciso reorganizar la distribución de los tiempos, dándole ranuras de tiempo más largas a las estaciones con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de poco tráfico. 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.

La modalidad de TDMA que se utiliza más en la práctica es la de ocupación del transpondedor completo por la portadora modulada; como sólo hay una portadora presente en cada instante dentro del amplificador de potencia de transpondedor, 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 estos casos se comparte el ancho de banda del transpondedor en FDMA, con los servicios prestados por otras estaciones independiente de la red TDMA.

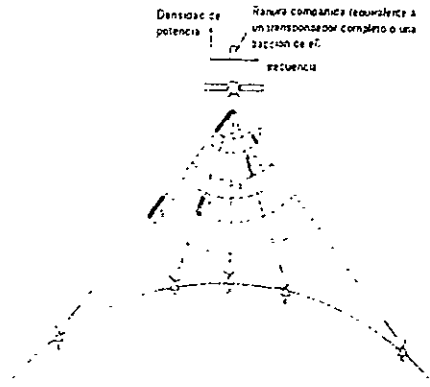
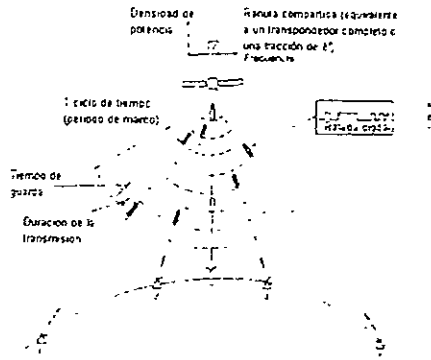


Figura 3.2.11 Red de cinco estaciones terrenas que comparten una misma ranura de frecuencias en un transponder mediante TDMA con asignación fija y tiempo T desiguales por estación.

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 video, 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 gran diversidad. Por ejemplo, un enlace FDM/FM/FDMA significa que, en la estación terrena transmisora, primero se multiplexa o combinan en frecuencia varios canales, originalmente en banda base (FDM); después, el resultado modula en frecuencia a una portadora (FM), y posteriormente ésta accesa al transpondedor del satélite (FDMA); en el punto receptor o destinatario se tiene que efectuar el proceso inverso para recuperar los canales en su forma original o banda base, es decir, demodular en frecuencia y después, demultiplexar en frecuencia.

3.2.3 ACCESO MULTIPLE POR DIFERENCIACION DE CODIGO (CDMA).

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**, es particularmente útil en transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia; al igual que TDMA, es totalmente digital, y las receptoras pueden ser muy pequeñas, sin

importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy amplios. Por otra parte, presenta el inconveniente de que ocupa un gran ancho de banda (un transpondedor completo), puesto 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 la (figura 3.2.12) se ilustra una red de seis estaciones terrenas que operan con la técnica de acceso CDMA. Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bit para codificar cada uno de los bits de información; de las estaciones terrenas receptoras, sólo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje que se transmitieron simultáneamente, pues estos últimos sólo los detecta como "ruido" tolerable. En virtud de que el ancho de banda que se utiliza este sistema de CDMA es muy amplio, por la expansión del espectro en 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**.

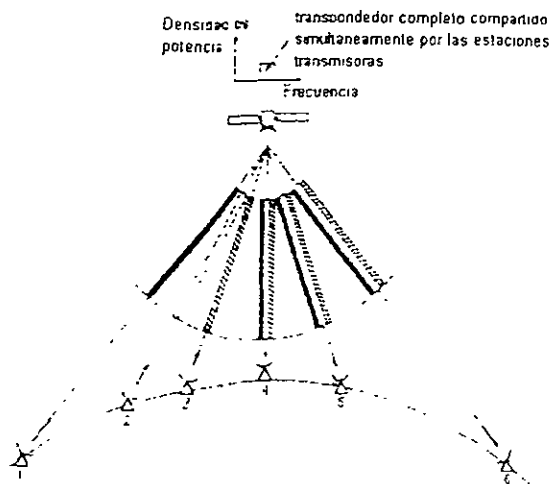


Figura 3.2.12 Red de seis estaciones terrenas que operan con acceso múltiple CDMA

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

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

Sin embargo, los satélites más modernos se están construyendo con varias antenas de haz pincel, diseñadas para cubrir diferentes zonas geográficas con muy alta densidad de potencia; cada haz está asociado con ciertos receptores y transmisores y es posible conmutar parte de la información, o toda, de un haz a otro mediante una matriz de microondas. Este sistema es digital, con acceso múltiple TDMA y se denomina acceso múltiple por división en el tiempo con **conmutación en el satélite o SS/TDMA**. Algunos satélites utilizan esta técnica moderna de SS/TDMA, la cual incrementa la eficiencia de un satélite, puesto que se logra la cobertura total de un territorio dividido en zonas con haces de potencia, en vez de hacerlo con un sólo haz común de baja densidad de potencia por unidad de área

3.2.4 FRECUENCIAS ASIGNADAS Y REUTILIZACION DE FRECUENCIAS.

La capacidad de tráfico de un satélite está 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, 14/12 GHz y 30/20 GHz, respectivamente; dependiendo de la región, hay variaciones entre los límites inferior y superior de cada una de estas bandas. Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente en la actualidad, y hasta hace poco había sólo 500 MHz de ancho de banda asignados en cada una de ellas, por lo que la mayor parte de los satélites que las utilizan operan con esa cantidad. La banda X es empleada por satélites militares y gubernamentales; esta banda tiene un ancho de 3 500 MHz, en la (tabla 1) se proporciona un resumen de las frecuencias asignadas a cada una de estas bandas para que funcionen los receptores (enlace descendente) y amplificadores transmisores (enlace descendente) de los satélites.

Como puede verse, el espectro radioeléctrico disponible es infinito, 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, a la misma frecuencia, con señales de polarizaciones ortogonales, éstas pueden ser lineales (horizontal y vertical) o circulares (derecha e izquierda). Muchos satélites comerciales operan con este tipo de reutilización de frecuencias.

Tabla 1 Resumen de las frecuencias asignadas a cada banda

BANDA	ENLACE ASCENDENTE	ENLACE DESCENDENTE
C. 6/4 GHz	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 Mhz)
	5.850 - 7.425 (1225 MHz)	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800 (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)	10.950 - 11.200 11.450 - 11.700 (500 Mhz)
	12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1000 Mhz)	10.700 - 11.700 (1000 Mhz)
14/12 Ghz	14.000 - 14.500 (500 Mhz)	11.700 - 12.200 (500 Mhz)
Ka. 30/20	27 500 - 31 000 (3500 Mhz)	17.700 - 21.200 (3500 Mhz)

3.3 SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

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 sistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentalmente; 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 baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas solares.

3.3.1 CELDAS SOLARES

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.

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 genera. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares; cuanto más baja sea ésta, mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas. Cuando el satélite se encuentra a la distancia de una unidad astronómica del sol, la intensidad de la radiación solar sobre sus celdas es de 1 350 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 de alrededor de un Kilowatt de potencia, es evidente que necesita contar con muchos metros cuadrados de celdas solares. Cada celda solar tiene un área de unos 5 cm², y uniendo muchas de ellas en serie y paralelo, como se muestra en la (figura 3.3.1), se forma un arreglo solar. Las celdas durante su vida de operación se ven expuestas a diversos tipos de radiaciones, que año tras año van disminuyendo su eficiencia aún más; después de unos 7 años de operación, la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30 % con respecto a la eficiencia original, aun cuando llevan cubierta de protección hecha de sílice fundido.

La intensidad de la radiación solar sobre las celdas del satélite no es constante, puesto que éste se acerca o aleja del sol junto con la tierra al desplazarse alrededor de él, cuando el satélite se acerca al sol, la intensidad de la radiación solar sobre las celdas aumenta.

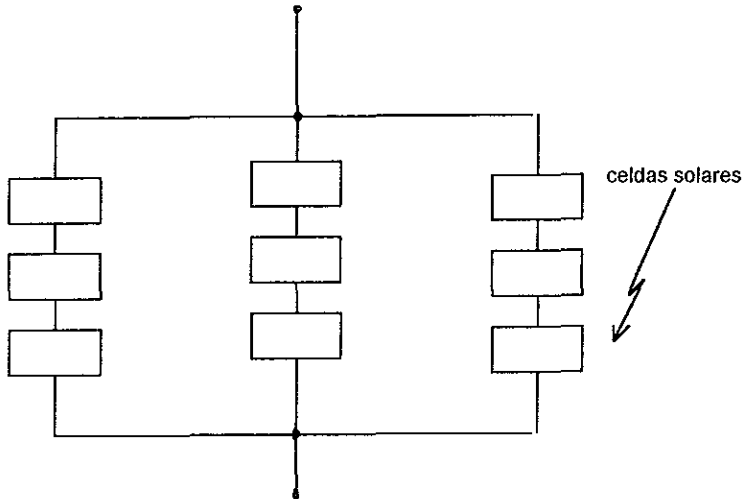


Figura 3.3.1 Ejemplo de una conexión de celdas en serie y paralelo

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 (Figura 3.3.2). En cambio, los satélites con cuerpo fijo y estabilización triaxial (Figura 3.3.3) no tienen una geometría cilíndrica, sino que se asemejan a un

cubo o caja, y normalmente emergen dos largos y planos paneles de sus costados, en forma de alas.

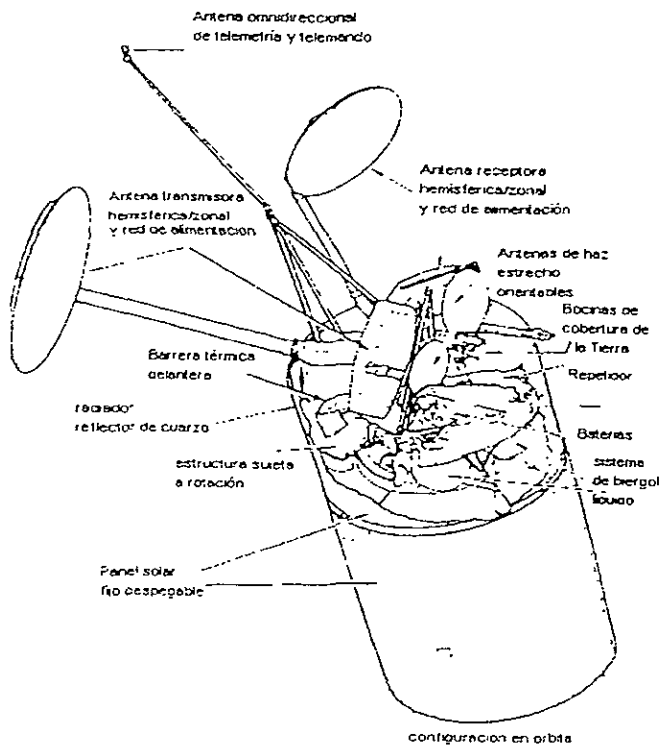


Figura 3.3.2 Satélite estabilizado por giro cilíndrico.

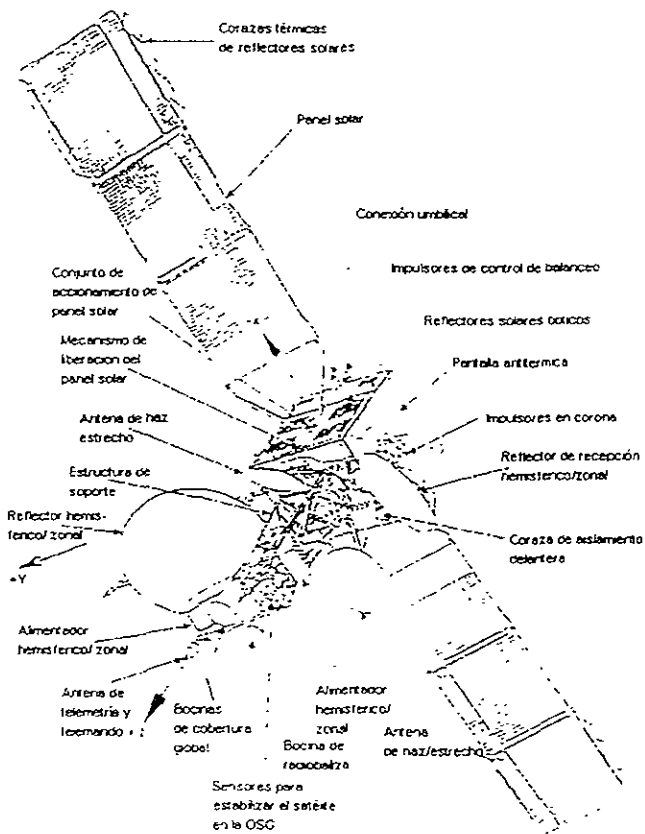


Figura 3.3.3 Satélite con estabilidad triaxial

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. En cuanto a los satélites de cuerpo fijo con estabilidad triaxial, en su interior hay volantes inerciales que actúan como giroscopios y que mantienen estable al satélite sin necesidad de que éste gire. Sus paneles solares cuentan con un mecanismo para orientarse constante y óptimamente hacia los rayos del sol; esto permite aprovechar al máximo y, al mismo tiempo todas las celdas, ya que la eficiencia de conversión es función del ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre ellas. Por tal razón, los satélites con este tipo de estabilización triaxial brinda mayor capacidad de generación de energía eléctrica que la de los estabilizadores por rotación, e invariablemente se opta por ellos cuando los 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.

La disponibilidad de contar con más energía eléctrica en un satélite de estabilización triaxial es atractiva, pero hay ciertas desventajas que deben tomarse en cuenta. Por un lado, existe el grave riesgo de que después de colocar al satélite en órbita, sus paneles solares, que se encuentran replegados en el momento del lanzamiento no se extiendan, o que no puedan ser reorientados, por la falla de algún mecanismo. 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 sí conduce a la elección de satélites con estabilización triaxial.

3.3.2 BATERIAS

Durante toda su vida de operación, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos necesita obtener 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 eléctricos detectan la disminución en el nivel de la energía suministrada por las celdas a los equipos y conectan las baterías automáticamente. 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 más de una hora, dependiendo de la duración del eclipse. Cuando éste concluye y el satélite queda otra vez expuesto a los rayos del sol, las celdas solares vuelven a hacerse cargo como fuente primaria de energía, al mismo tiempo que recargan las baterías para que estén listas cuando se les requiera nuevamente.

Las baterías que más se utilizan en los satélites geoestacionarios de comunicaciones son de níquel-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 níquel-hidrógeno. En las figuras (3.3.4) y (3.3.5) se muestran, respectivamente, ejemplos de bancos de baterías de níquel-cadmio y níquel-hidrógeno.

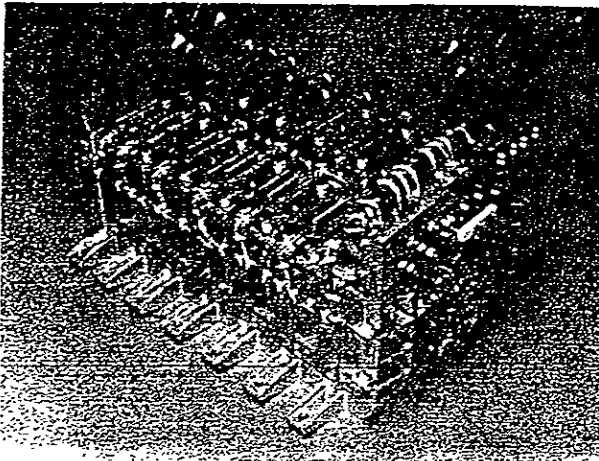


figura 3.3.4 Baterías de níquel-cadmio

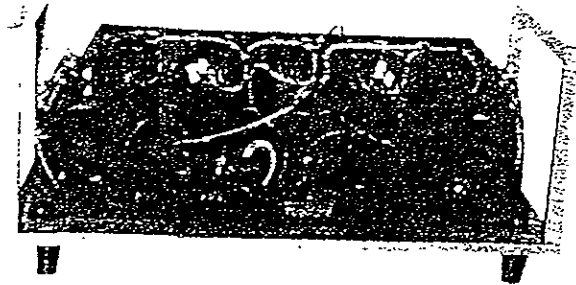


Figura 3 3 5 Banco de baterías de níquel-hidrógeno

3.3.4 SISTEMA DE CONTROL TERMICO.

En varias partes del satélite se requieren rangos de temperatura por operar eficientemente, y 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, 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. (figura 3.3. 6).

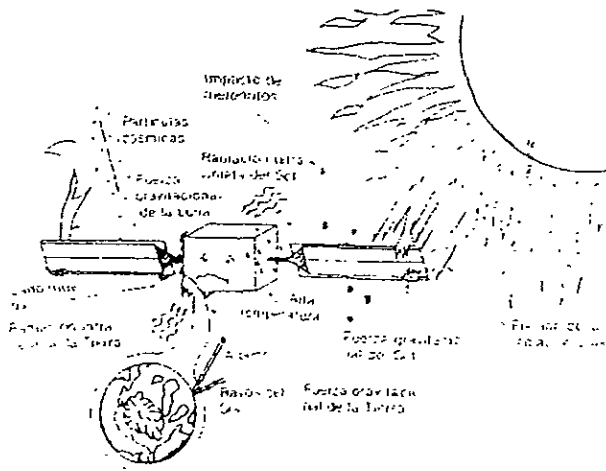


Figura 3.3.6 Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satelélite.

La energía proveniente de la tierra la integran dos tipos de radiación; la propia de ella y la del sol reflejada por su satélite, más el producido por la absorción de energía del sol y de la tierra, menos el radiado por el satélite hacia el exterior. Se debe mantener lo más constante posible, con pocas variaciones, de tal forma que el satélite funcione 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 está de nuevo expuesto a los rayos del sol sufre otro cambio brusco de temperatura

Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en el diseño de satélites tienen diversidad de materiales adecuados que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato. Por ejemplo, una sección del satélite va cubierta con un reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo, que rechaza el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior al vacío. Por otra parte, los módulos del interior, así como el sistema de antenas que va en el exterior, van cubiertos con algún tipo de material plástico aislante, que los protege del calor o de los cambios bruscos de temperatura.

Los colores también tienen un papel muy importante en el acabado de las partes del satélite, un ejemplo es la pintura blanca que absorbe la radiación infrarroja de la tierra, pero rechaza el flujo solar; su emitancia es muy alta y su absorvencia muy baja, de manera que se comporta como un elemento frío al sol. La pintura negra tiene una emitancia alta, pero al mismo tiempo posee una absorvencia muy alta, y cuando está 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 . También se utiliza la pintura de aluminio; por tener una emitancia más baja que la pintura negra, las zonas cubiertas con pintura de aluminio son más calientes en la oscuridad. Es

así como, mediante la combinación de materiales y colores, y 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.

Uno de los elementos más sensibles al frío son las baterías, que son las responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante el eclipse, y es preciso contar con algún sistema de calefacción que se encienda cuando la temperatura comience a bajar en forma significativa. Para tal efecto, se utilizan caloductos que contribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calefactores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Los caloductos operan bajo el principio de la evaporación y condensación sucesivas de algún fluido en los extremos de un ducto; en el extremo donde está la fuente de calor, en 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, así en forma sucesiva.

3.3.5 SISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la tierra y retransmitirlas hacia otra, a través de su sistema de antenas direccionales, las cuales deben estar permanentemente orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Para que tal objetivo se lleve a cabo, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de 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, o en algunos casos toda su estructura, gira para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la tierra. Hoy sólo una parte de su cuerpo gira, mientras que el resto de la estructura, que incluye a las antenas, se mantiene fijo; la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción.

Los satélites con estabilización triaxial no gira. En estos casos, la estabilización de la estructura del satélite se conserva mediante volantes giratorios (Figura 3.5.1) que se encuentran colocados en su interior, sobre cada uno de los tres ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite hacia la superficie terrestre

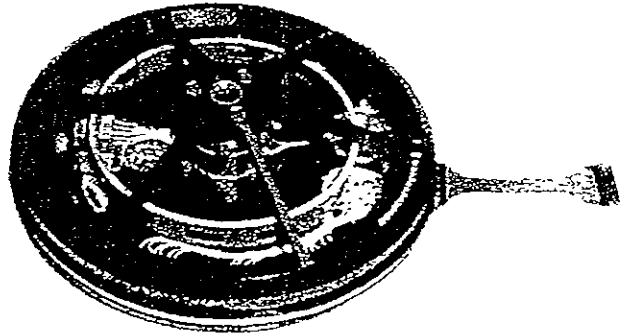


Figura 3.5.1 Volante de reacción utilizado para conservar el equilibrio de satélite

Las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie de la tierra. Por lo tanto, es preciso poder determinar, de alguna manera y en todo momento, dónde está el satélite y cuál es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en qué dirección o ángulo, con relación a algún punto de referencia sobre la tierra. La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que éste retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las

fases de la señal transmitida y la recibida, es un indicador de lo lejos que se encuentra. La medición del ángulo o la dirección en la que se puede hacer por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas. La técnica de máxima recepción es otra alternativa para medir el ángulo, y tiene la ventaja de que sólo 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 encuentre.

Para la determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre, se pueden utilizar sensores, de los cuales los más comunes son los de sol y los de tierra (figura 3.5.2). Los sensores solares son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica, cuya magnitud depende de la dirección de la radiación solar sobre ellos.

La precisión que ofrecen los sensores solares y de la tierra en la determinación de la orientación de un satélite, es relativamente aceptable. Existe un nuevo método que utiliza sensores de radiofrecuencia, que detectan y miden las características de los 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.

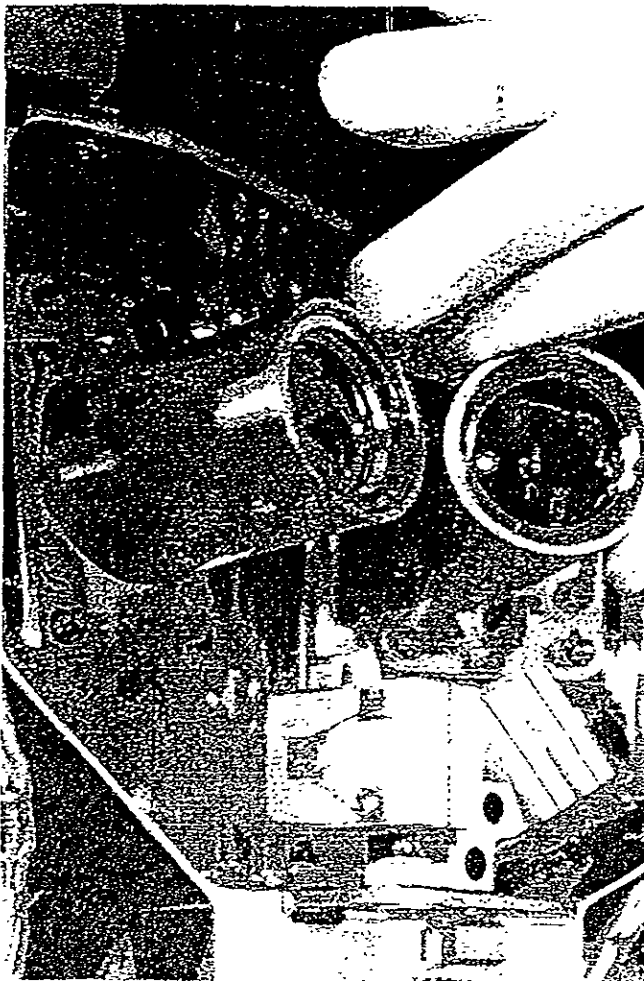


Figura 3.5.2 Sensores de la Tierra y de Sol.

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 las correcciones que deben hacerse para reducir esos errores o diferencias y, finalmente, llevarlas a cabo mediante la operación de algún actuador o conjunto de actuadores, se cuenta con los volantes (hay varios tipos de volantes, entre ellos, inerciales, de momento, y de reacción con cojinetes magnéticos) o giroscopios, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par correctivo; asimismo, hay bobinas que generan un momento 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 a continuación.

3.6 SISTEMA DE PROPULSION

El sistema de propulsión o de control a reacción, opera mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de toberas o conductos de escape, con los que se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros son los de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje, ciertos o miles de veces, más grandes que los eléctricos.

La eficiencia 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 necesaria 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. Si se desea reducir al mínimo posible el peso total del combustible almacenado en el satélite; para economizar en los costos del lanzamiento, es deseable utilizar propulsores que funcionen con combustible de impulso específico muy alto; para efectuar las correcciones de posición y orientación 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 donde ocurre 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 área transversal y después se ensancha. Los primeros sistemas de control a reacción utilizaban gases fríos como el nitrógeno y el peróxido de hidrógeno; sin embargo, su impulso específico era muy bajo y muy pronto fueron sustituidos por la **hidrazina monopropelente**. La hidrazina (N_2H_4) es inyectada en una cámara, 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 por medio de 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 (figura 3.6.1). Este incremento permite reducir la masa de 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 más la tendencia a utilizar sistemas **bipropelentes**, con lo que no se emplea un catalizador, sino un combustible y un oxidante que 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 usadas son la hidrazina monometilica (combustible) y el tetróxido de nitrógeno (oxidante) que, al combinarse producen un impulso específico del orden de 300 segundos. La ventaja 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 como para realizar las maniobras de corrección de orientación y posición durante todos sus años de vida, utilizando los mismos tanques de almacenamiento de combustible.

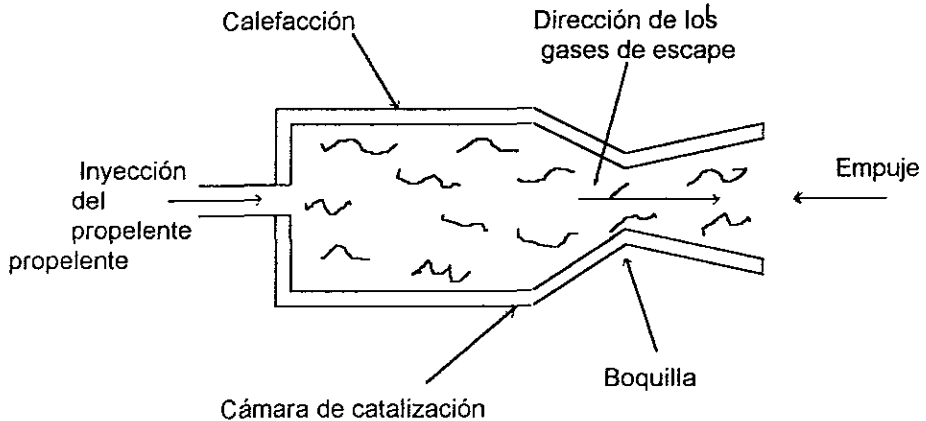


Figura 3.6.1 Cámara de catalizador y boquilla de escape de un propulsor monopropelente

En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, éstos funcionan generando un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético; pero aún se encuentran en etapa de prueba, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio de cesio.

3.7 SISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO.

Este sistema 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 cientos de puntos de prueba, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperatura, 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; 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 unos

cuantos Kilohertz, y que modulan sucesivamente en fase con la señal portadora de la estación terrena de control, el satélite recupera los tonos y demodula 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 permite calcular la distancia a la que se encuentra el satélite, con precisión de unas 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 efectuadas (figura 3.7.1).

Durante los varios años de vida de operación 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 sistema 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 la banda C o 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; las

transmisiones y recepciones se efectúan a través de la antena de rastreo, comando y telemetría

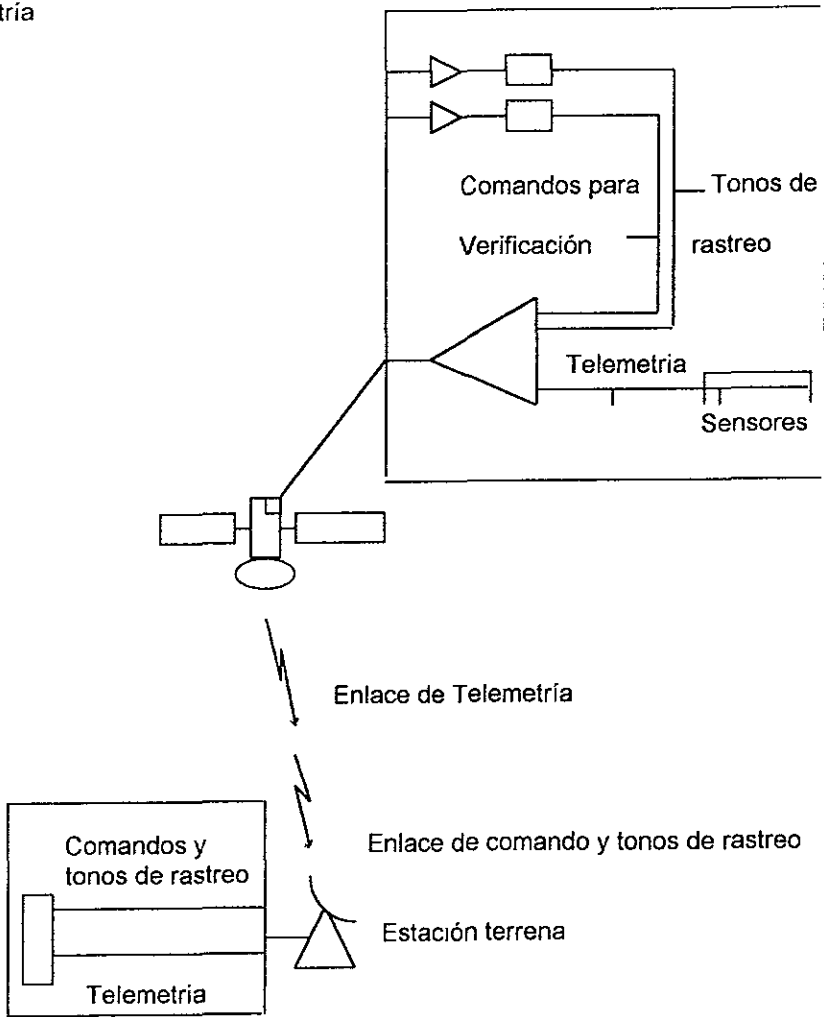


Figura 3.7.1 El sistema de rastreo, telemetría y comando se usan para conocer y controlar la operación, posición y orientación del satélite

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, así como también cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura o 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 seguridad, y la mayor parte de los sistemas utilizan una frecuencia, en la que el satélite primero retransmite al centro de control los comandos que haya recibido, éstos son verificados en la tierra y, si se comprueba que las órdenes fueron recibidas correctamente, entonces el centro de control transmite una señal de ejecución. Al recibirla, el satélite procede a efectuar los cambios ordenados.

4. SISTEMA ESTRUCTURAL.

La estructura del satélite es el almacén que sostiene a todos los equipos que lo forman y que le da la rigidez necesaria para soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se ve sujeto desde el momento en que abandona la superficie de la tierra; este importante sistema debe ser durable, resistente y lo más ligero posible (figura 4.1).

Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita, el satélite se enfrenta a vibraciones, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos; fuerzas centrífugas, empujes de los propulsores y esfuerzos mecánicos. Cuando llega a su posición orbital final, el satélite se ve afectado por impactos de micrometeoritos, presiones de radiación de las antenas, fuerzas de atracción de la tierra, la luna y el sol, y empujes generados por su propio sistema de propulsión. Tanto la estructura del satélite como cada una de las demás partes que lo componen, deben diseñarse para que soporten esas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida. Para ello, tiene diversidad de materiales para fabricar la estructura. Los materiales más comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero, y varios plásticos reforzados con fibra de carbón; de éstos, el berilio es el más caro, y por lo tanto su utilización es limitada. Dependiendo del diseño (número y forma de las antenas, tipo de estabilización, número y potencia de los amplificadores, etc.), (figura 4.2) la masa de la estructura puede variar entre 10 y

20 % del total de la masa del satélite; una buena parte de esa estructura (los cilindros o las paredes de la caja) se fabrica con "panal de abeja" (honeycomb) de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

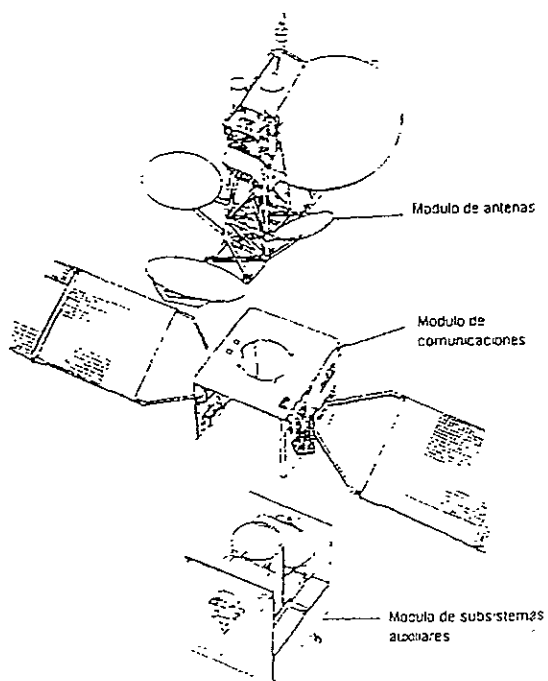


Figura 4.1 Estructura de los satélites IntelSat V.

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

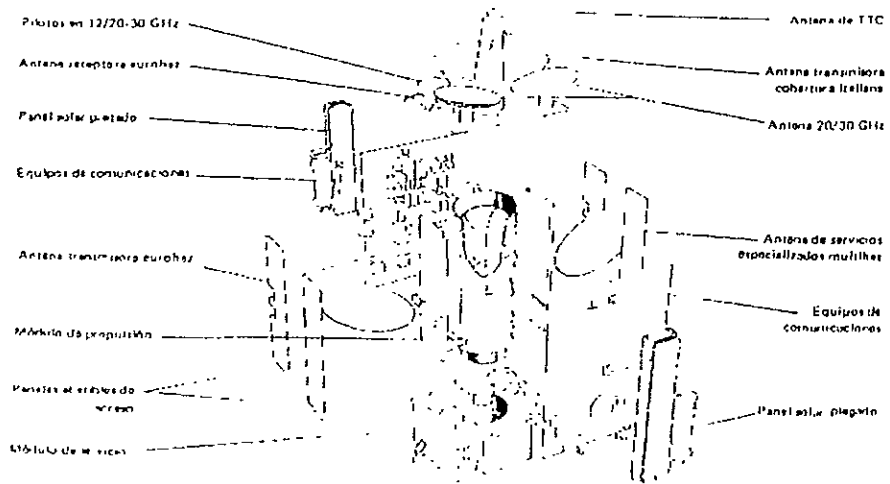


Figura 4.2 Componentes generales del satélite Olympus 1.

CONCLUSIONES

En este trabajo se estudiaron los diferentes tipos de satélites usados en la actualidad, como los satélites repetidores de radiofrecuencia, conocidos como satélites convencionales. También se consideraron otros tipos de satélites, como son satélites inteligentes, los cuales no sólo van a ser usados como repetidores de frecuencia, sino además van a realizar enlaces entre satélites sin que tenga que transmitir la señal a alguna estación terrena y retransmitirla de nueva cuenta a otro satélite para realizar el enlace.

También se trató de la estructura y funcionamiento de los satélites geoestacionarios. Se trató de abarcar en forma general ya que son temas muy complicados y extensos como los explicados en este trabajo como; los sistemas de antenas, los diferentes accesos de transmisión de señales para un sistema de comunicación, el sistema de energía, el control térmico, etc., así como las características de cómo se forma la estructura de los satélites

Se comprobó que la mayor utilización de los satélites es para un medio de comunicación de transmisión de señales y el alcance de las redes convencionales terrestres de telefonía, de transmisión de datos, o de distribución y difusión de radio y TV, sino que ofrece otras posibilidades especialmente adecuadas para comunicar

con vehículos terrestres, aéreos o marítimos. Los sistemas de ayuda a la navegación, radiodeterminación, búsqueda y salvamento tienen un apoyo fundamental en los satélites.

Como podemos darnos cuenta, la era espacial desde sus inicios hasta nuestros días ha ido evolucionando a pasos gigantescos. Esta evolución se ha debido a la necesidad de comunicación a grandes distancias en un tiempo casi instantáneo.

Los satélites son una muy buena opción para aquellos que requieren las características de comunicación antes mencionadas, independientemente de todos los factores que intervienen sobre los elementos que lo conforman y que hacen su tarea más difícil.

En consecuencia, las próximas generaciones de satélites nos pronostican grandes cambios y mejoras considerables en cuestión de tecnología para poder cubrir los requisitos impuestos por la época.

GLOSARIO

CDMA	Acceso Múltiple por División de Códigos.
DAMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia con Asignación por Demanda.
FDM	Multiplexaje por División en Frecuencia.
FDMA	Acceso Múltiple por División en frecuencia.
FM	Modulación de Frecuencia.
Haz	Señal que envía el satélite con la información a la tierra.
Híbridos	Satélites que trabajan simultáneamente en las dos bandas de frecuencia; en banda C y Ku.
INTELSAT	Organización Internacional de Telecomunicaciones por satélite.
MCPC	Portadora Multicanal (o Múltiple).
Orbita geoestacionaria	Orbita situada en el plano ecuatorial, localizada a una distancia de 35,788 Km sobre el nivel del mar (conocida también como Cinturón de Clarke).
PCM	Modulación por Codificación de Pulsos (pulsos codificados).
Portadora	Información que se transmite al satélite con una frecuencia asignada.
SCPC	Canal Único por portadora.
SPADE	Acceso Múltiple con asignación por demanda, con canal único por portadora modulado en PCM.

SS/TDMA	Acceso Múltiple por División en el Tiempo con conmutación en el satélite.
TDMA	Acceso Múltiple por División en el Tiempo.
TDM	Multiplexaje por División de Tiempo
Transpondedor	Trayectoria de cada repetidor comprendiendo todos sus equipos, desde la salida de la antena hasta la entrega de la transmisión.
UA	Unidad Astronómica (150 000 000 Km).
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
VHF	Frecuencia muy alta (30 - 300 Mhz).

BIBLIOGRAFIA

Los Satélites de Comunicación,

J. J. G. Ruíz de Angulo

Boixareu Editores.

Satellite Communications

Edward W. Ploman

Ediciones G. Gilli, S.A

Satélite de Comunicaciones

Rodolfo Neri Vela

McGraw Hill

Satellite Communications

Timothy Pratt and Charles W. Bostian

John Wiley & Sons.

RECONOCIMIENTO

Al ing. Rodolfo López González, por la paciencia con la cual dirigió y revisó este trabajo. Al Ing. Jorge Ramírez Rodríguez, Ing. Vicente Magaña González y al Ing Alfonso Contreras Marquez, por su asesoría en el seminario de titulación y por todo el apoyo recibido.