

91  
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**COMUNICACIONES**

**TIPOS DE SATELITES DE COMUNICACIONES, ASI  
COMO SU ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO**

**TRABAJO DE SEMINARIO  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
HECTOR POPOCATL VALDES**

**ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO 1998

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

100074



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
PRESENTE.

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

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

"Tipos de Satélites de Comunicaciones, así como su  
Estructura y Funcionamiento"

que presenta el pasante: Héctor Popocatepec Valdés

con número de cuenta: 8733451-7 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"

Cuautilán Izcalli, Edo. de México, a 07 de julio de 19 98

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
II	Ing. Juan González Vega	
I	Ing. Vicente Migaña González	
IV	Ing. Alfonso Contreras Márquez	

*Agradezco y dedico este trabajo a mis padres y a mi familia, que siempre me apoyaron durante todos mis estudios, y me ayudaron alentándome para poder terminar mi carrera como Ingeniero Mecánico Electricista.*

*Así, también doy gracias a Dios por haberme permitido concluir mis estudios, dándome las fuerzas para seguir adelante.*

## INDICE

<b>Prólogo</b> .....	<b>1</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>2</b>
<b>Capítulo 1. Tipos de satélites de comunicación</b> .....	<b>6</b>
1.1 Servicios de comunicaciones .....	7
<b>Capítulo 2. Sistema de funcionamiento de los satélites de comunicación</b> .....	<b>11</b>
2.1 Sistema de antenas .....	12
2.2 Sistema de comunicaciones .....	18
2.2.1 Conceptos generales .....	18
2.2.2 Acceso Múltiple por División en Frecuencia .....	35
2.2.3 Acceso Múltiple por División en el Tiempo .....	40
2.2.4 Acceso Múltiple por Diferenciación de Código .....	44
2.2.5 Acceso Múltiple por División en el tiempo con conmutación en el satélite .....	46
2.2.6 Frecuencias asignadas y reutilización de frecuencias .....	47
<b>Capítulo 3. Sistema de Energía Eléctrica</b> .....	<b>50</b>
<b>Capítulo 4. Sistema de Control Térmico</b> .....	<b>59</b>
<b>Capítulo 5. Sistema de Posición y Orientación</b> .....	<b>63</b>
<b>Capítulo 6. Sistema de Propulsión</b> .....	<b>68</b>
<b>Capítulo 7. Sistema de Rastreo, Telemetría y Comando</b> .....	<b>72</b>
<b>Capítulo 8. Sistema Estructural</b> .....	<b>76</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>80</b>
<b>Glosario</b> .....	<b>82</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>84</b>

## PROLOGO

Las comunicaciones por satélite han sido utilizados para brindar el servicio de telecomunicaciones Internacionales transoceánicas, a través de enormes antenas de entrada, conectadas a las redes nacionales de comunicaciones. Los principales cambios que han ocurrido son la introducción de antenas más pequeñas para servicios como la recepción directa de televisión, sistemas de negocios, terminales móviles para comunicaciones marítimas, aeronáuticas y también terrestres. Actualmente, la aplicación comercial más importante de los satélites ha sido, por mucho, el entablar enlaces de telecomunicaciones a larga distancia entre puntos definidos de la Tierra para servicios de telefonía, algo de tráfico de televisión y últimamente tráfico de datos. Los satélites han demostrado ser un medio eficaz y costeable, especialmente en rutas de tráfico muy denso. Típicamente, estos sistemas de satélites de comunicación incluyen pocas estaciones terrenas que son de gran tamaño y costosas, y que se conectan con las redes terrestres. Las tendencias más recientes se orientan a satélites cada vez más potentes, y la introducción gradual de técnicas, tales como la transmisión digital, lo que permite una reducción del tamaño de la estación terrena, de forma **que las rutas que portan un tráfico menos denso sean también eficientes en lo que respecta al costo.**

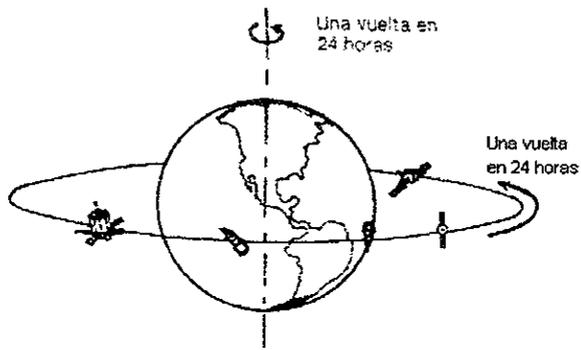
## INTRODUCCION

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 distancia, sino también porque se les puede hacer funcionar en gamas de frecuencias muy elevadas.

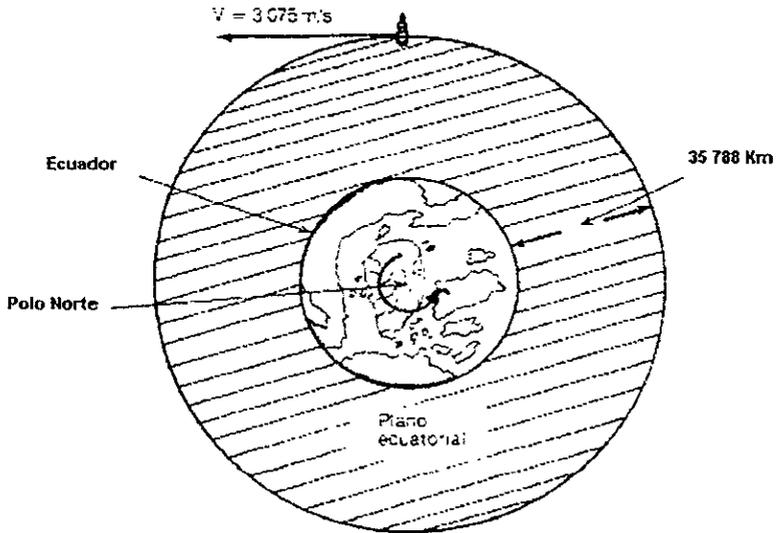
Los satélites de comunicación están formados por sistemas electrónicos y mecánicos los cuales, en conjunto, forman el funcionamiento y estructura de los satélites que se utilizan para la comunicación de información entre dos o más puntos en la superficie terrestre.

En general todos los satélites funcionan bajo el mismo principio y constan de varias partes comunes, independientemente de su objetivo en órbita alrededor de la Tierra. Por supuesto que sí hay diferencias fundamentales entre ellos pero, de cualquier forma, todos necesitan, 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 su órbita, posición u orientación respecto a la Tierra.

Para que el satélite de comunicación funcione adecuadamente debe estar siempre orientado a uno o más puntos sobre la superficie de la Tierra, es decir geostacionario; para esto es necesario que el satélite se encuentre



a) Vista lateral



b) Vista superior

Figura 1.1 Órbita geostacionaria

fijo en el mismo punto o zona de servicio, desplazándose a su vez en el mismo sentido de rotación que la Tierra; además, debe estar aproximadamente a 36,000 Km. de altura sobre el nivel del mar. Para lograrlo, el satélite debe tener una velocidad constante de 3,075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, como se muestra en la figura 1.1. Dicha órbita recibe el nombre de órbita geoestacionaria, y algunos la conocen como cinturón de Clarke. Y es aquí donde se encuentran la mayoría de los satélites de comunicaciones.

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 o recibiendo eficientemente información hacia la Tierra y, por otra parte, también está regido por la cantidad de combustible, el cual es necesario para la orientación y 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.

Y la Estructura externa, que es el armazón principal que soporta todo el peso de los dispositivos electrónicos y mecánicos, que componen a los diferentes sistemas que conforman al satélite.

## 1. TIPOS DE SATELITES DE COMUNICACION

En la actualidad existen una gran variedad de satélites geoestacionarios orbitando la Tierra. Los servicios espaciales que se orientan hacia la Tierra se pueden clasificar de diversas maneras, según sus aplicaciones; como son las telecomunicaciones, comunicaciones móviles por tierra, comunicaciones marítimas, comunicaciones aeronáuticas, radiodifusión por satélite, etc. Algunos de ellos se utilizan para el servicio móvil de comunicaciones; otros están dedicados al servicio fijo de comunicaciones, y el número restante cumple con otros propósitos, por ejemplo, observaciones meteorológicas, vigilancia, uso militar o gubernamental y experimentación.

Dentro de este contexto, lo más fácil sería comenzar clasificando los satélites en dos grandes categorías: 1) Satélites de observación que se usan para la recogida de datos, y también para su procesado, y la transmisión consiguiente de esa información a la Tierra.

2) Satélites de comunicación, que se usan para la transmisión, distribución y diseminación de la información desde diversas ubicaciones en la Tierra a otras partes.

No todos los satélites operan a la misma frecuencia, pero por lo que respecta a los de comunicaciones, la mayor parte funciona en las bandas C y Ku; algunos de ellos (los híbridos) trabajan simultáneamente en ambas bandas, pero aún son muy pocos en comparación con los que

operan exclusivamente con una banda. La tendencia actual es sustituir a los últimos en forma gradual por satélites híbridos, ya que éstos permiten duplicar el ancho de banda de transmisión y recepción, con el consecuente incremento en la cantidad de la información que se puede conducir, aunque a expensas de mayor complejidad y costo.

Algunos satélites se utilizan solamente para transmitir televisión analógica. Otros, para telefonía analógica o digital en su totalidad o mayor parte, y otros para el manejo exclusivo de información que contenga datos, telefonía y videos digitalizados, pero muchos operan simultáneamente con cualquiera de estos tipos de información, ya sea en transpondedores independientes o, a veces, en el mismo transpondedor.

### **1.1 SERVICIOS DE COMUNICACIONES**

Los servicios que se pueden proporcionar con los satélites geoestacionarios de comunicaciones, se dividen en dos grandes grupos: fijo y móvil. Una red de comunicaciones de **servicio fijo** consiste en uno o varios satélites; y las estaciones terrenas que se intercomunican a través de ellos, con la particularidad de que las estaciones siempre permanecen en el mismo punto geográfico donde se hayan instalado inicialmente, es decir son fijas. Esto no implica que no tengan flexibilidad en su movimiento, puesto que hay ocasiones en las que se deben reorientar para mejorar la calidad de recepción, o para captar la señal de otro

satélite. Y, a pesar del movimiento de giro que la antena tenga temporalmente, la estación terrena siempre permanece fija en el piso. Un caso muy particular es el de las unidades "móviles", las cuales consisten en un plato parabólico, el equipo necesario de transmisión y recepción, y una planta propia de energía eléctrica, montados en un medio de transporte como camioneta o camión; estas unidades móviles son útiles cuando se desea ofrecer un servicio temporal, o cubrir algún evento de corta duración, que se encuentre con la falta de instalaciones adecuadas de transmisión y recepción. Un ejemplo claro es la transmisión de un evento deportivo, una reunión de un evento social, información de noticias, etc. Una vez que las unidades móviles se encuentran en los puntos donde se va a estar transmitiendo y recibiendo, y después de que sus platos parabólicos son orientados hacia el satélite correspondiente, permanecen operando de modo fijo, por lo que se incluyen como servicio fijo de comunicaciones vía satélite.

El otro tipo de servicio al que nos referimos es el **servicio móvil**, que es cuando muchos usuarios que requieren comunicarse por satélite tienen la cualidad de que sus equipos no permanecen en un solo lugar, esto es, que no están fijos, sino que se mueven o cambian de lugar **constantemente**, por ejemplo, en barcos, plataformas marinas, aviones, trenes, etc. como se muestra en la fig 1.2.

En cualquiera de los casos, el equipo de comunicaciones del servicio móvil debe tener una antena capaz de permanecer en contacto con el satélite geostacionario, independientemente de su movimiento.

Las redes de comunicaciones móviles por satélite surgieron años después de las de servicio fijo, y la mayor parte aún se encuentra en su etapa de diseño o construcción. El servicio todavía no pertenece a una industria tan firme y lucrativa como la del servicio fijo pero, con los avances de la tecnología, se va a elevar su desarrollo y utilización en el futuro.

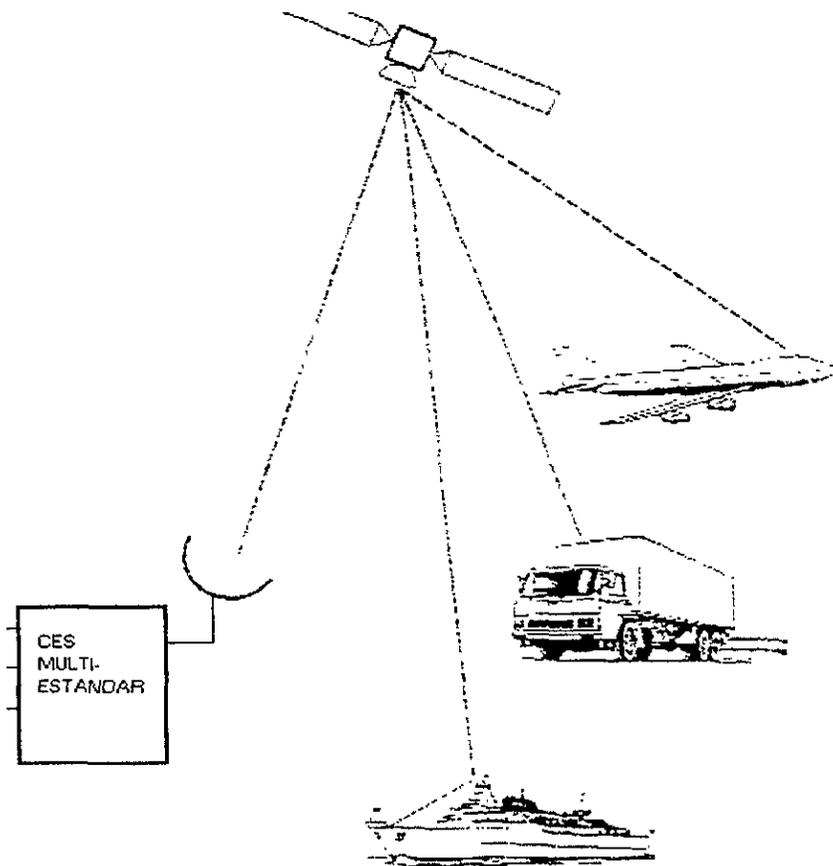


Figura 1.2 Sistemas de comunicaciones móviles

## **2. SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SATELITES DE COMUNICACION**

Como ya se mencionó anteriormente, 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. A continuación se indican los sistemas más importantes que componen un satélite, así como la función que desempeña cada uno de ellos.

### **SISTEMAS DE UN SATELITE DE COMUNICACION**

<b>SISTEMAS</b>	<b>FUNCION</b>
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 en la Tierra para conservar el funcionamiento del satélite.
Estructura	Es donde se encuentran todos los equipos y da la rigidez al satélite.

A continuación se explicará, en forma breve y sencilla, cada uno de los sistemas que forman un satélite de comunicación.

## **2.1 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, pero también una sola antena puede recibir y transmitir 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 captan desde este último para entregársela 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 son la interfase o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio.

Hay 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 las 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 constantes 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 Fig. 2.1, 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 (fig. 2.2).

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

1.-Antenas de tipo haz 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.

2.-Antenas de tipo haz hemisférico; (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.-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.

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

5.-Antena de telemetría 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 en la Tierra se esté al tanto de lo que pasa en su interior, dónde está y cuál es su condición de funcionamiento en general.

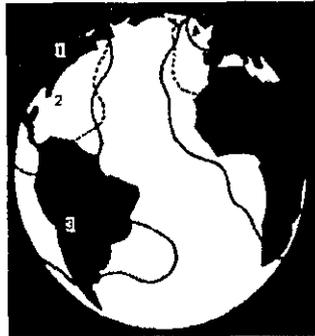
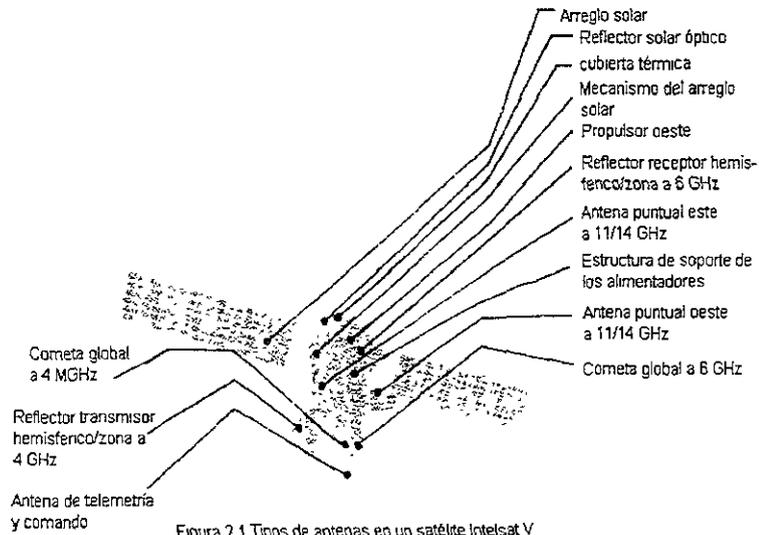


Figura 2.2 Cobertura de los haces de iluminación: 1) Haz puntual 2) Haz de zona y 3) Haz hemisférico. El Haz global tiene la cobertura de los dos haces hemisféricos

## 2.2 SISTEMA DE COMUNICACIONES

### 2.2.1 Conceptos generales

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 fig. 2.3 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 se 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

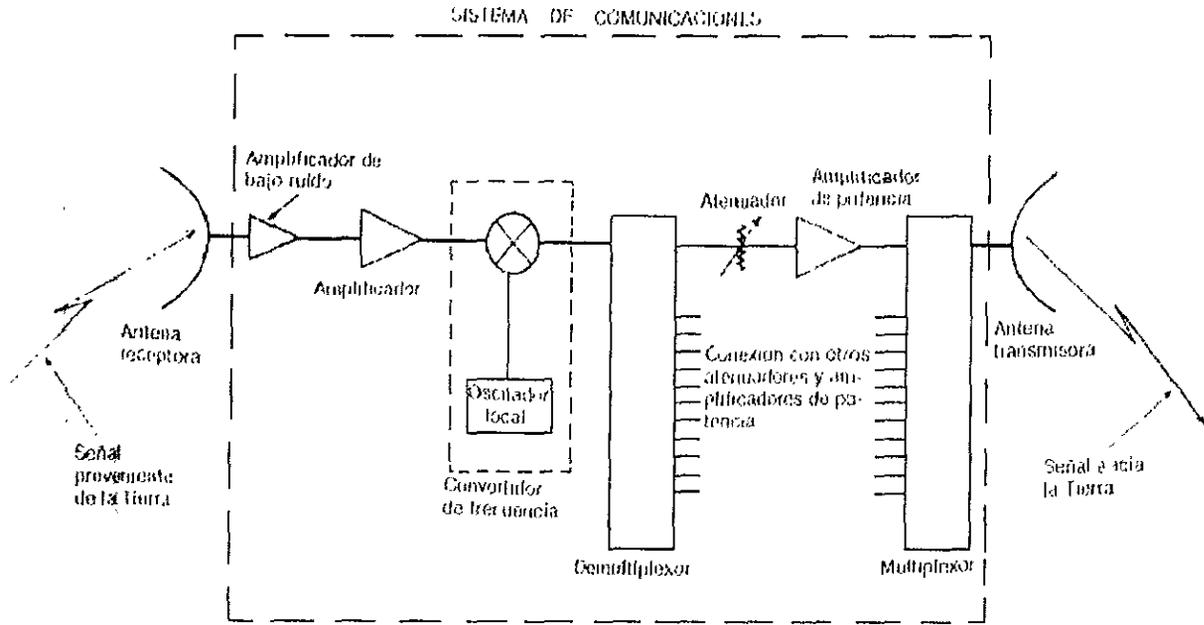


Figura 2.3 Relación entre los sistemas de antenas y comunicaciones

desde la salida de la antena receptora, hasta la entrega de la transmisora se le da el nombre de **transpondedor**, es decir, que el sistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite. Este sistema, incluyendo el de las antenas, es el 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 los canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia, así como el espacio que deben ocupar dentro de cada amplificador.

La señal proveniente de la Tierra que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, bastantes canales telefónicos 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 anteriormente se dijo, un **satélite puede tener varias antenas receptoras, o quizá solamente una**, dependiendo de su diseño y aplicaciones, y 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 C como en la Ku, de esta forma se duplica la capacidad en el número de canales que pueden manejar al mismo tiempo.

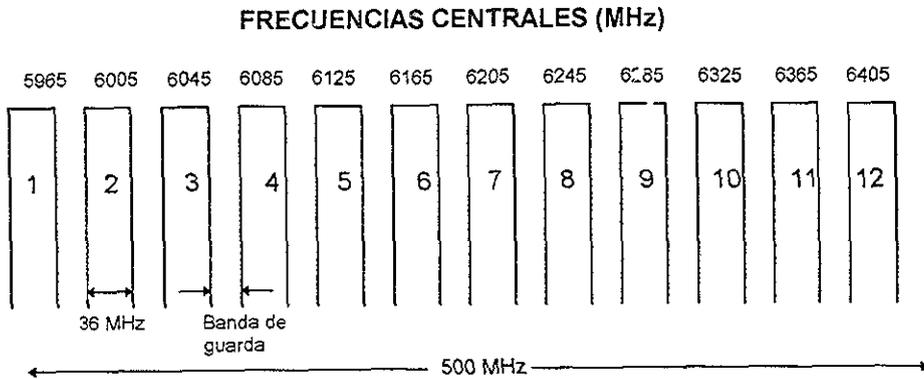
En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están entre 5.925 y 6.425 GHz, con una frecuencia central de 6.175 GHz; mientras que en la banda Ku, las frecuencias están entre 14.0 y 14.5 GHz y su frecuencia central es de 14.25 GHz. La antena receptora del 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 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 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 fig. 2.4, 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 2.4** 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 representa 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 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 indeseablemente por el aparato. Por esto, 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 todas 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 un duplicado; éste 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 al 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 solo 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 puntos 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 muestra a continuación la fig. 2.5

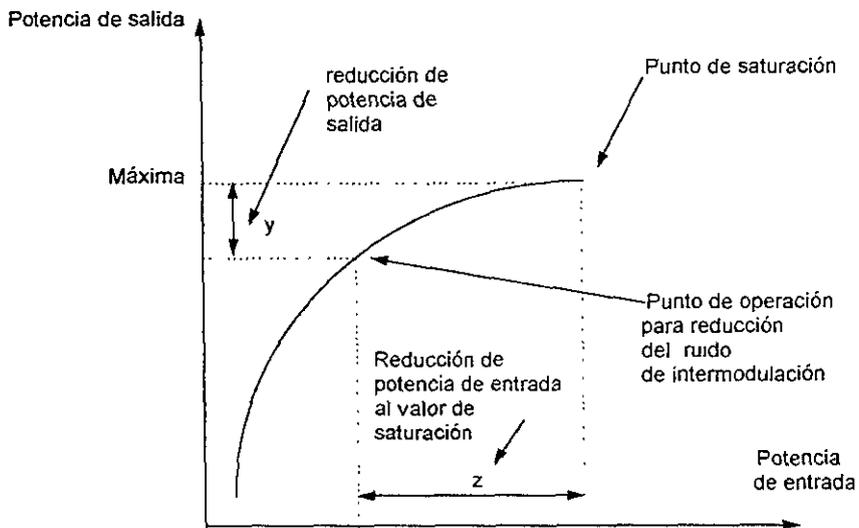


Figura 2.5 Curva característica de un amplificador de potencia.

También, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mejores 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 fig. 2.6 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.

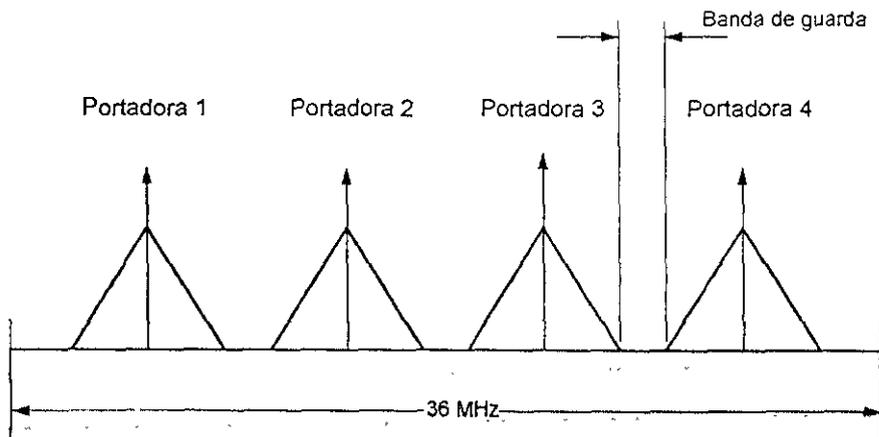


Fig. 2.6 Posible configuración de la ocupación del espacio de frecuencias de un transponder de 36 MHz.

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 transpondedor 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 lineal, 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 haber 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 fig. 2.3 es básico, y puede haber distintas versiones, con ligeras modificaciones, como se puede ver en la fig. 2.7. 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 fig. 2.3. 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 haber 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 1,3,5,7,9 y 11 de la fig. 2.4, y las pares pasan por el demultiplexor 2, que serían las ranuras 2,4,6,8,10 y 12

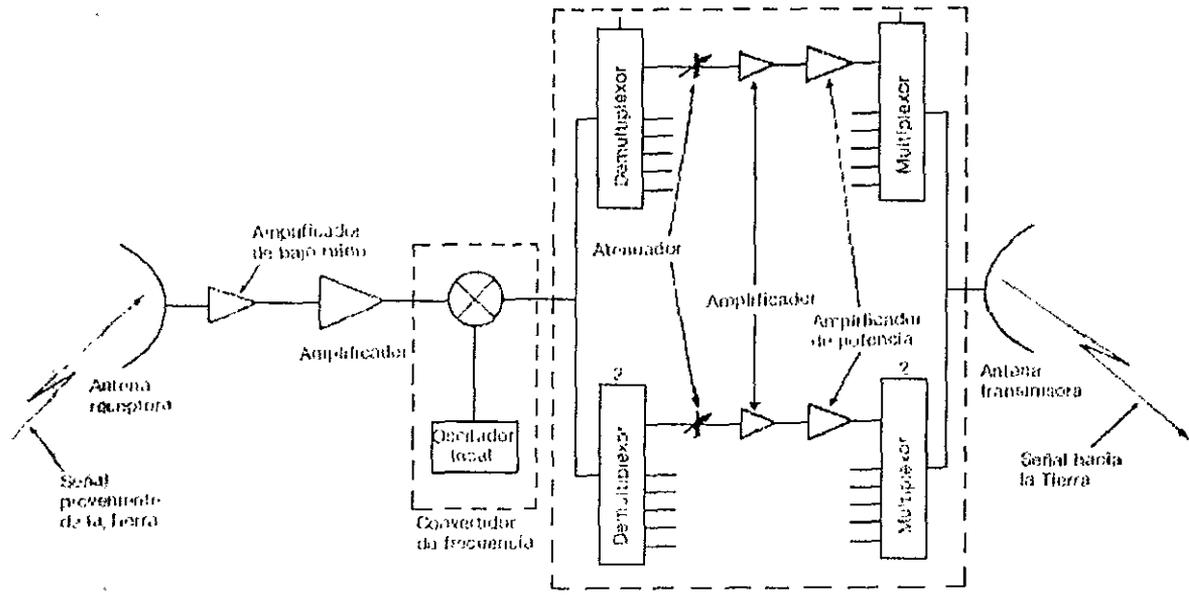


Figura 2.7 Diagrama y equipos del sistema de comunicaciones. Con dos demultiplexores y dos multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la interferencia

de la misma figura. Este tipo de separación de canales ofrece una ventaja importante con respecto al uso de un solo demultiplexor, ya que la banda de guarda entre los nuevos canales adyacentes se incrementa y, por lo tanto, se reduce la posibilidad de interferencia entre ellos durante la etapa de alta amplificación. 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 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 fig. 2.8 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.

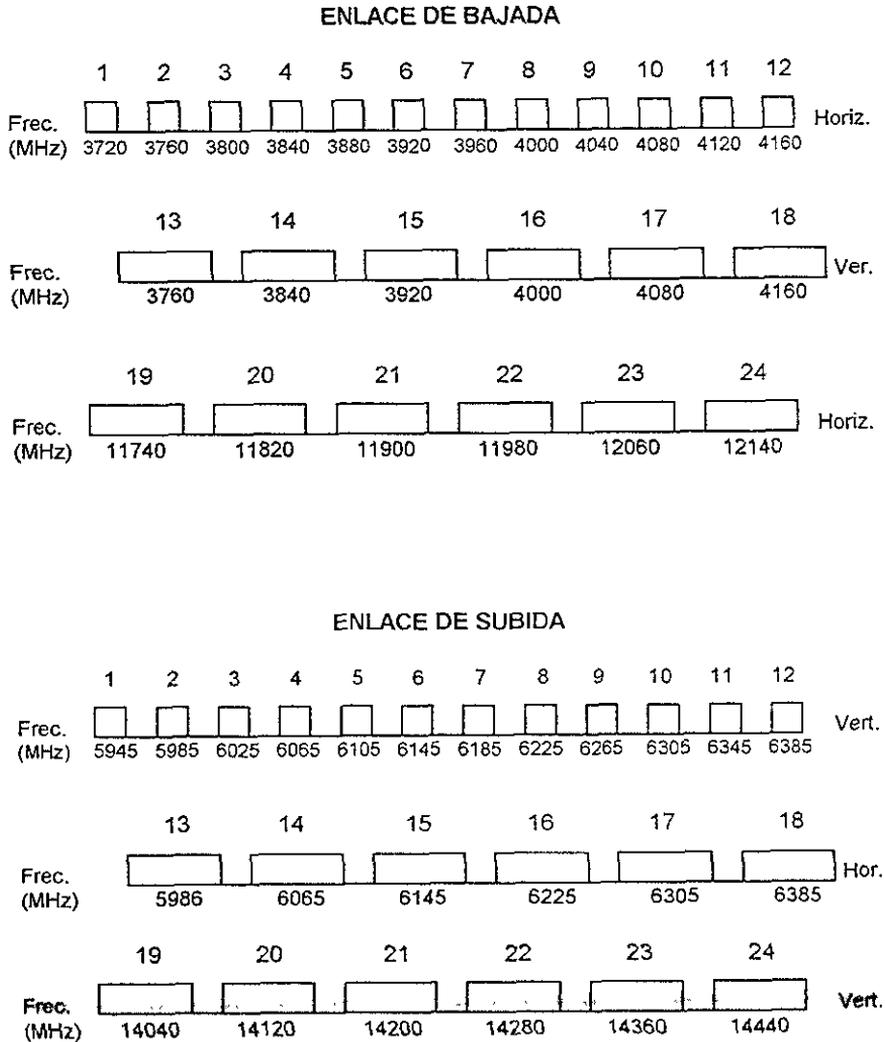


Figura 2.8 Plan de frecuencias y polarización de un satélite

En la figura 2.9 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.

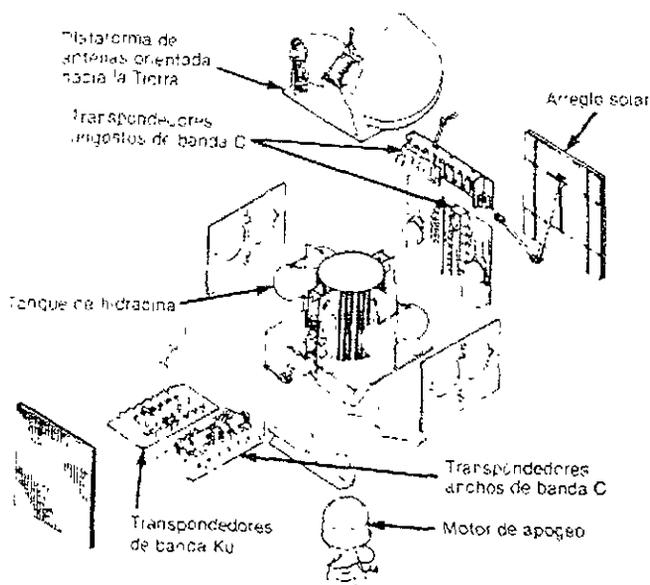


Figura 2.9 Posición de los transpondedores de las bandas C y Ku.

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 enlaces: 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, 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 o recolectarla 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 un 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.

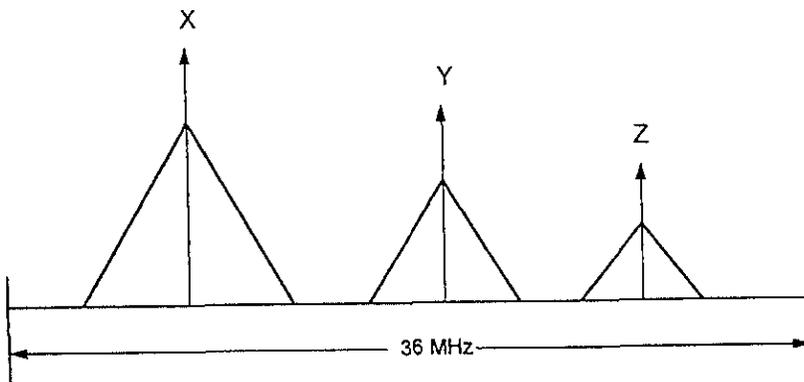
## 2.2.2 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN FRECUENCIA

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 desde la Tierra, no tiene necesariamente el suficiente tráfico para generar información que ocupe todo ese ancho de banda, y que pueda enviar con una sola frecuencia portadora determinada. 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 transpondedor 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; esto

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 estaciones individualmente, da un total cercano a los 36 MHz, entonces las tres ocuparán simultáneamente el mismo transpondedor del satélite, separadas por bandas de guarda, como se muestra en la figura 2.10. 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 2.10** Ocupación de un transpondedor de 36 MHz con FDMA.

ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencias, asignadas a cada una de ellas. La configuración es rígida e invariable, pues cada estación debe transmitir 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 en 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 otra estación; pero puede haber 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 conforman 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 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 enlazar 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 haber portadoras multicanal con 12 canales telefónicos cada una, otras con 24, 36, 48, ..., y así sucesivamente, dependiendo del tráfico de cada estación terrena transmisora.

### **2.2.3 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN EL TIEMPO**

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 (f.igs. 2.11 y 2.12). O pueden variar con el tiempo

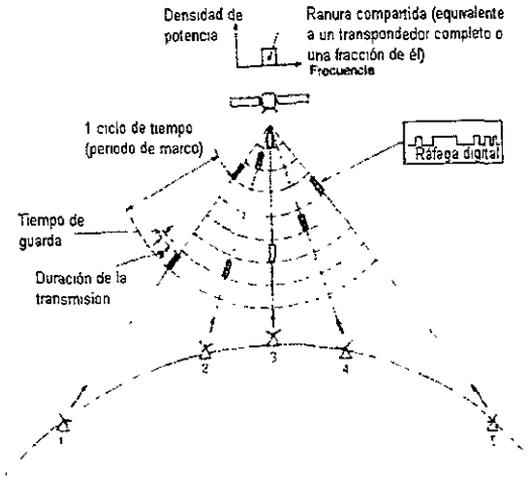


Figura 2.11 Red de cinco estaciones terrenas que comparten una misma ranura de frecuencias en un transpondedor mediante TDMA

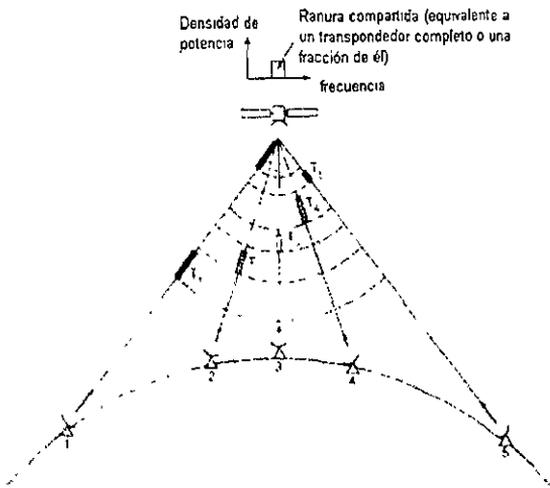


Figura 2.12 Red de cinco estaciones terrenas que comparten una misma ranura de frecuencias en un transpondedor mediante TDMA con asignación fija y tiempos T desiguales por estación.

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.

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

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, no hay ruido de intermodulación y se puede aprovechar al máximo la potencia de salida. Sin embargo, en varias situaciones, el tráfico manejado por una red de estaciones no es tan grande como para justificar la ocupación total de un transpondedor, sino solamente una fracción de él; en estos casos se comparte el ancho de banda del transpondedor en FDMA, con los servicios prestados por otras estaciones independiente de la red TDMA.

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 una gran diversidad. Por ejemplo, un enlace FDM/FM/FDMA significa que, en la estación terrena transmisora, primero se multiplexan o combinan en frecuencia varios canales, originalmente en banda base (FDM); después, el resultado modula en frecuencia 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

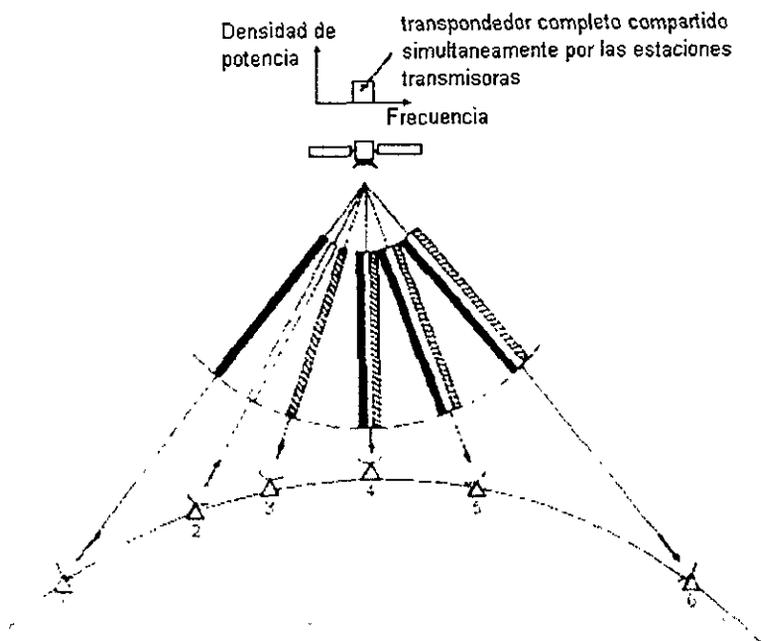
para recuperar los canales en su forma original o banda base, es decir, demodular en frecuencia y después, demultiplexar en frecuencia.

#### **2.2.4 ACCESO MULTIPLE POR DIFERENCIACION DE CODIGO**

Además de las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en los satélites comerciales de comunicaciones, existe una tercera alternativa, en la que un transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esta técnica, denominada **acceso múltiple por diferenciación de código** o **CDMA**, es particularmente útil en transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia; al igual que TDMA, es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y 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 mucho ancho de banda (un transpondedor completo), pues cada bit de información, como los que se transmiten en modalidad TDMA, se transforma en un nuevo tren de bits muy largo de acuerdo con un código determinado previamente.

En la figura 2.13 se ilustra una red de seis estaciones terrenas que operan con la técnica de acceso CDMA. Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de

información; de las estaciones terrenas receptoras, sólo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original, aunque llegue superpuesto con todos los demás mensajes que se transmitieron simultáneamente, pues estos últimos sólo los detecta como "ruido" tolerable. En virtud de que el ancho de banda que 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 2.13** Red de seis estaciones terrenas que operan con acceso múltiple CDMA.

## 2.2.5 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 sistema, puesto que se logra la **cobertura total de un gran territorio dividido en zonas con haces de**

potencia, en vez de hacerlo con un solo haz común de baja densidad de potencia por unidad de área.

## **2.2.6 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, 14/11 GHz ó 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. La banda Ka se encuentra aún en etapa de experimentación; 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.

**Tabla 1. Resumen de las frecuencias asignadas a cada banda**

BANDA	ENLACE ASCENDENTE (GHz)	ENLACE DESCENDENTE (GHz)
C: 6/4 GHz	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 MHz)
	5.850 - 7.075 (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 GHz	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3500 MHz)

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.

### 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 fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

Con excepción de las primeras horas inmediatas a su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de 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 generan. 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 cm<sup>2</sup>, y uniendo muchas de ellas en serie y paralelo, como se muestra en la figura 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.

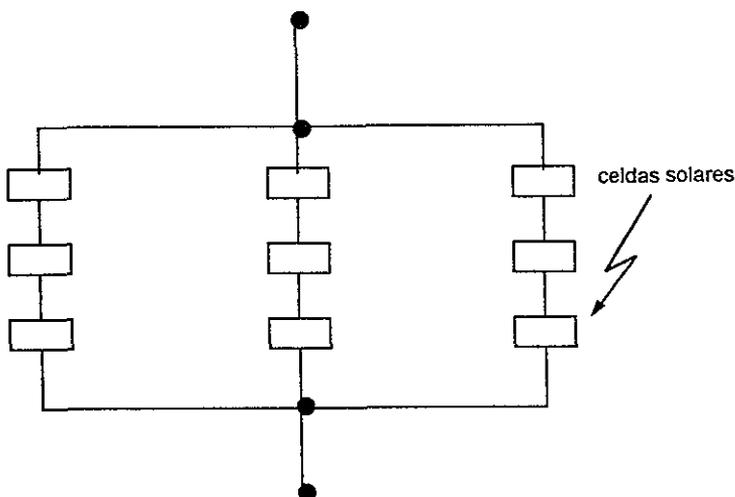


Figura 3.1 Ejemplo de una conexión de celdas en serie y paralelo

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 (Fig. 3.2). En cambio, los satélites con cuerpo fijo y estabilización triaxial (Fig. 3.3) no tienen una geometría cilíndrica, sino que se asemejan a un cubo o caja, y normalmente emergen dos largos y planos paneles solares de sus costados, en forma de alas.

En el caso de los satélites estabilizados por giro o rotación, no todas las celdas solares están expuestas al sol en todo momento, y solamente se

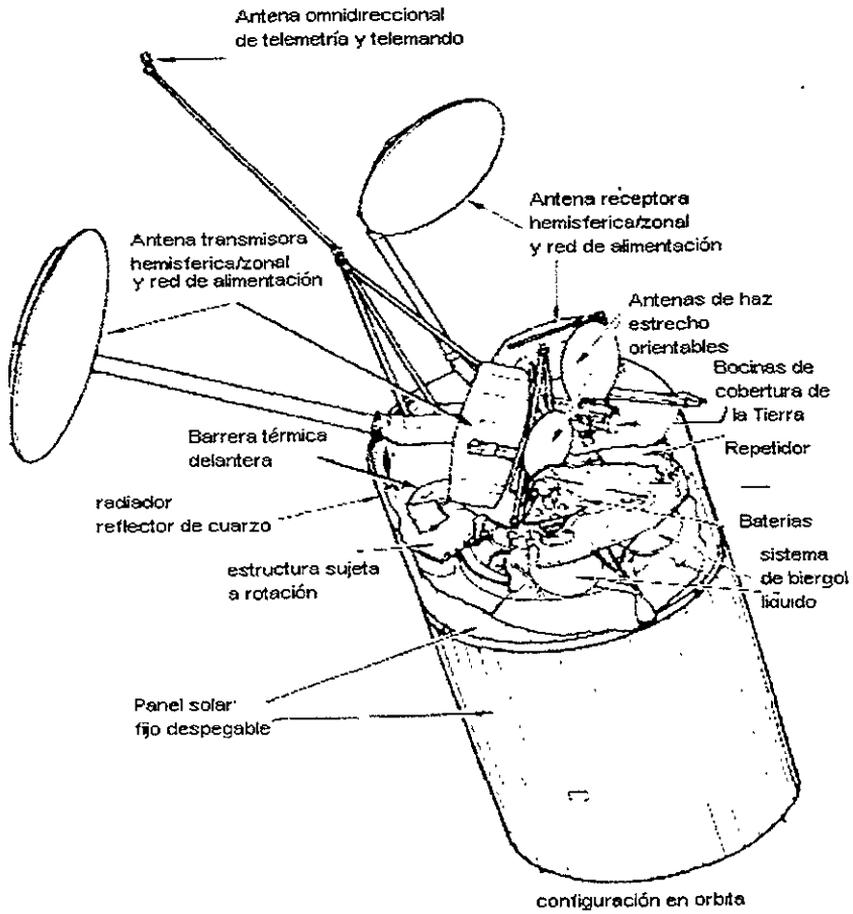


Figura 3.2 Satélite estabilizado por giro cilíndrico

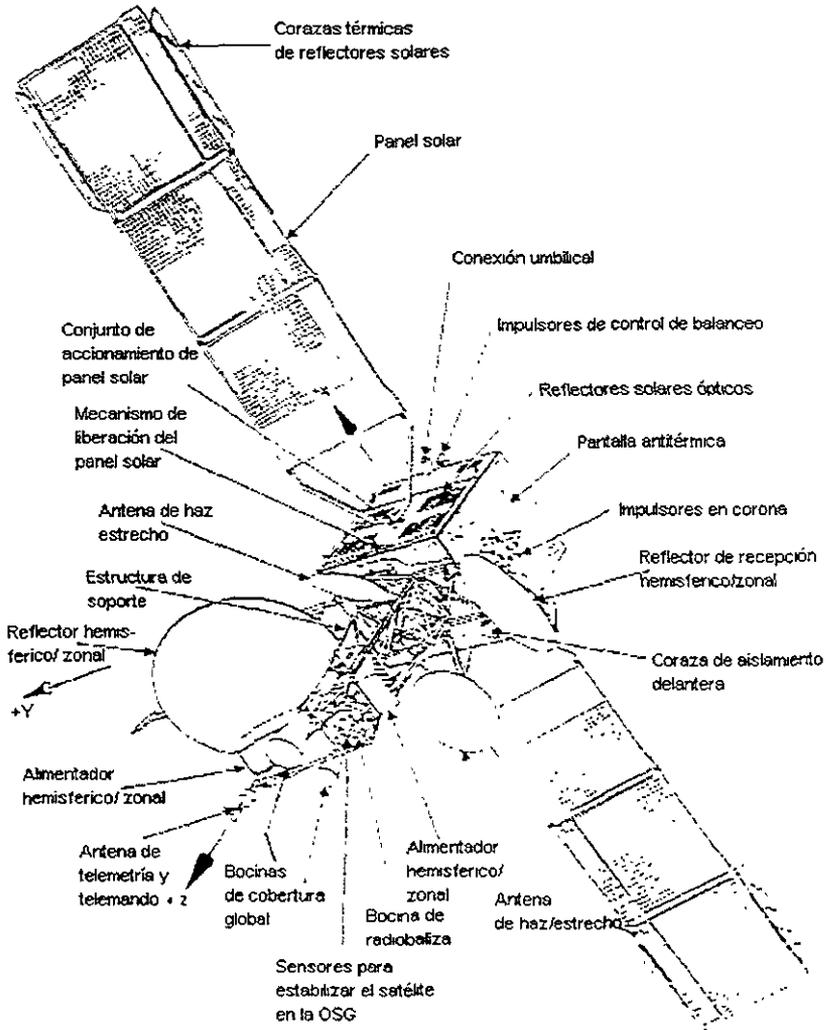


Figura 3.3 Satélite con estabilización triaxial

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 estabilización 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; ésto 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 de Sol sobre ellas. Por tal razón, los satélites con este tipo de estabilización triaxial brindan 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.

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 de 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 3.4 y 3.5 se muestran, respectivamente, ejemplos de bancos de baterías de níquel-cadmio y níquel-hidrógeno.

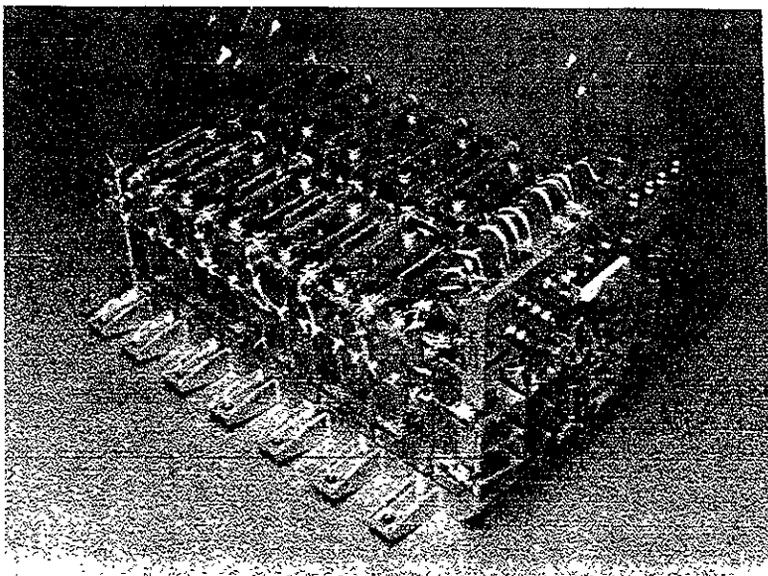


Figura 3.4 Baterías de níquel- cadmio

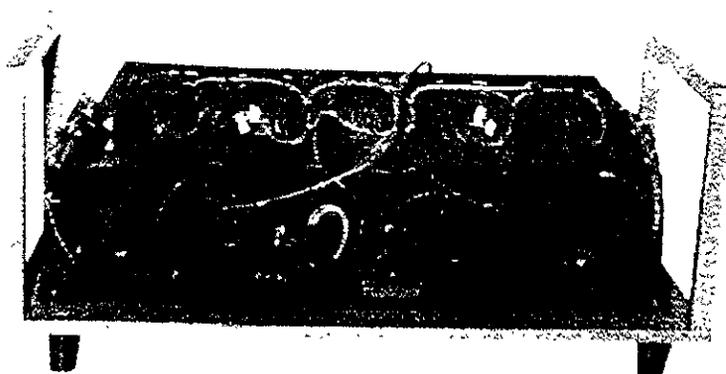


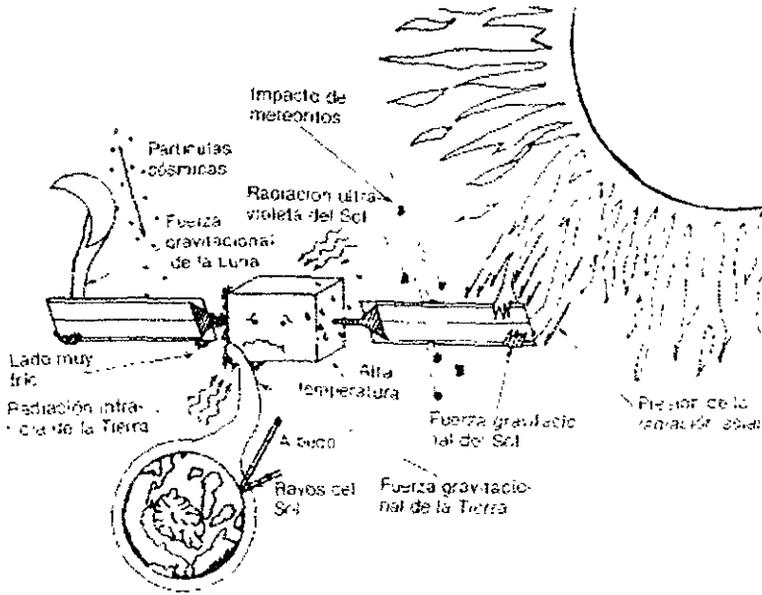
Figura 3.5 Banco de baterías de níquel-hidrógeno

#### 4. SISTEMA DE CONTROL TERMICO

En varias partes del satélite se requieren rangos distintos de temperatura para 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.(fig. 4.1).

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



**Figura 4.1** Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite

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 frente al Sol. La pintura negra tiene una emitancia alta, pero al mismo tiempo posee una absorbencia 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 con el auxilio de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva dentro de un nivel aceptable de temperaturas durante la mayor parte del tiempo.

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 distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores 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; ésto ocasiona que el fluido se condense;

## 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 giran. En estos casos, la estabilización de la estructura del satélite se conserva mediante volantes giratorios (figura 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 5.1 Volante de reacción utilizado para conservar el equilibrio del 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 halla 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 encuentra.

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 (fig. 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 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 radiofaros o señales radiolétricas transmitidas desde una estación terrena; los sensores determinan con gran precisión la diferencia angular que hay entre el eje principal de

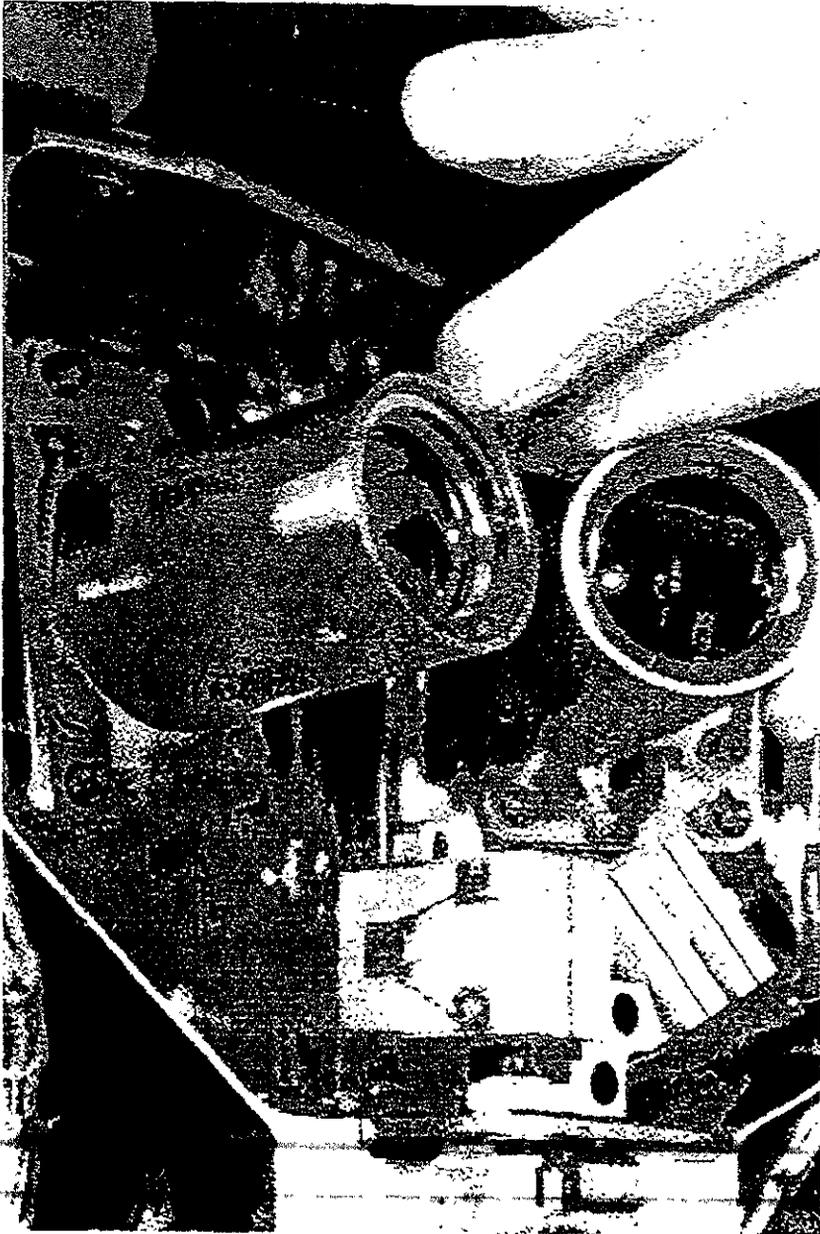


Figura 5.2 Sensores de Tierra y de Sol

radiación de la antena del satélite y la línea o trayectoria de las ondas de radio del radiofaro o haz piloto.

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 montados en el satélite; el flujo de la información correspondiente se realiza por el sistema de rastreo, telemetría y comando. Entre otros tipos de actuadores, se cuenta con los volantes (hay varios tipos de volantes, entre ellos, inerciales, de momento, y de reacción con cojines 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.

## 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 lo 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, cientos o miles de veces, más grandes que los eléctricos.

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa 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 (Fig. 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

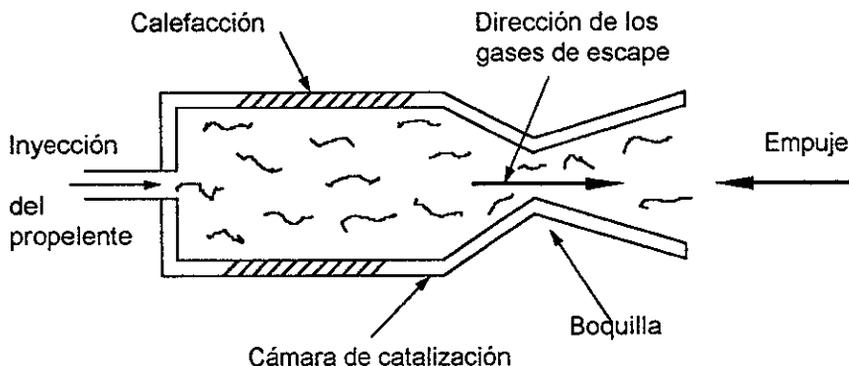


Figura 6.1 Cámara de catalizador y boquilla de escape de un propulsor monopropelente

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.

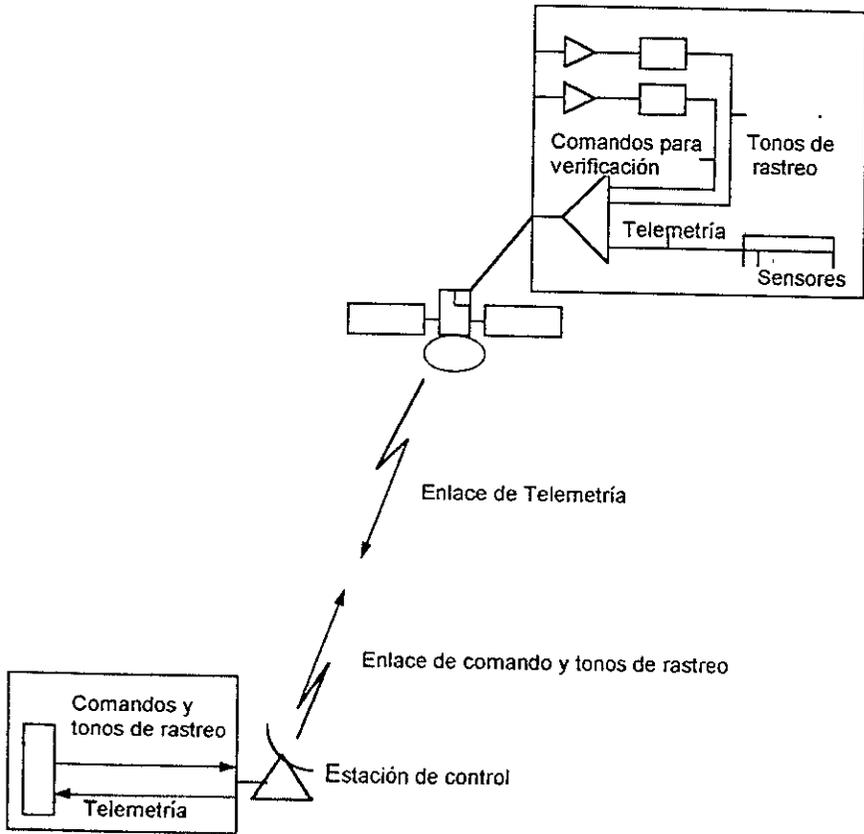
En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, éstos funcionan generando un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético; pero aún se encuentran en etapa de prueba, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio de cesio.

## 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 temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital, que el satélite transmite hacia la Tierra con una velocidad baja, entre 200 y 1000 bits por segundo; 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 remodula con ellos a su propia portadora, para retransmitirlos hacia la Tierra, en donde son detectados por el centro de control. Las señales recibidas en Tierra se comparan en fase con las transmitidas originalmente, y las diferencias obtenidas permiten calcular la distancia a la que se encuentra el satélite, con precisión de 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 (fig. 7.1).



**Figura 7.1** El sistema de rastreo, telemetría y comando se usan para conocer y controlar la operación, posición y orientación del satélite.

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.

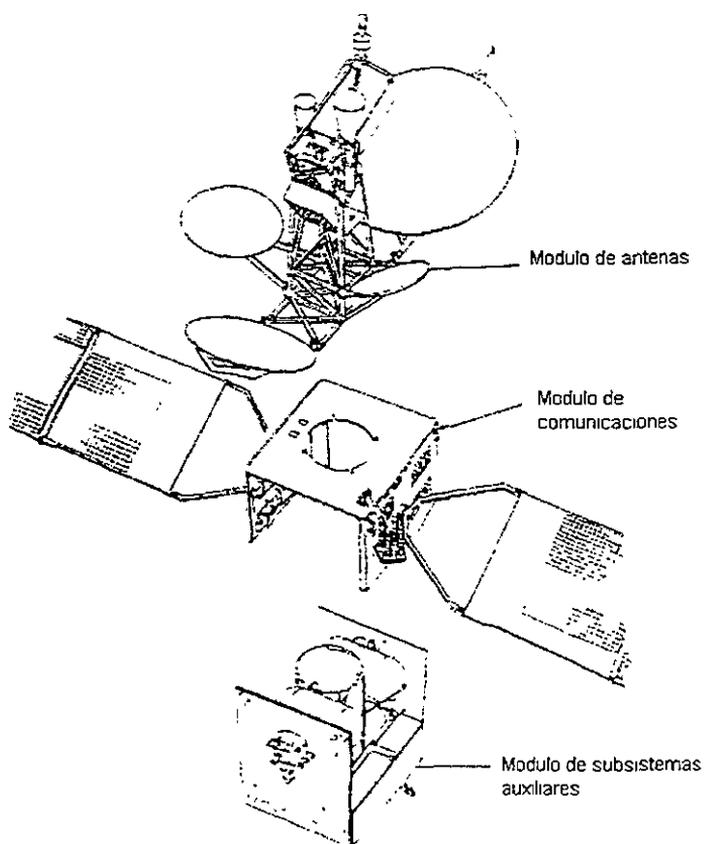
Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, así como también cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura o durante la 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 secuencia, 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.

## 8. 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. (fig 8.1)

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 8.2), la masa de la estructura puede



**Figura 8.1 Estructura de los satélites Intelsat V.**

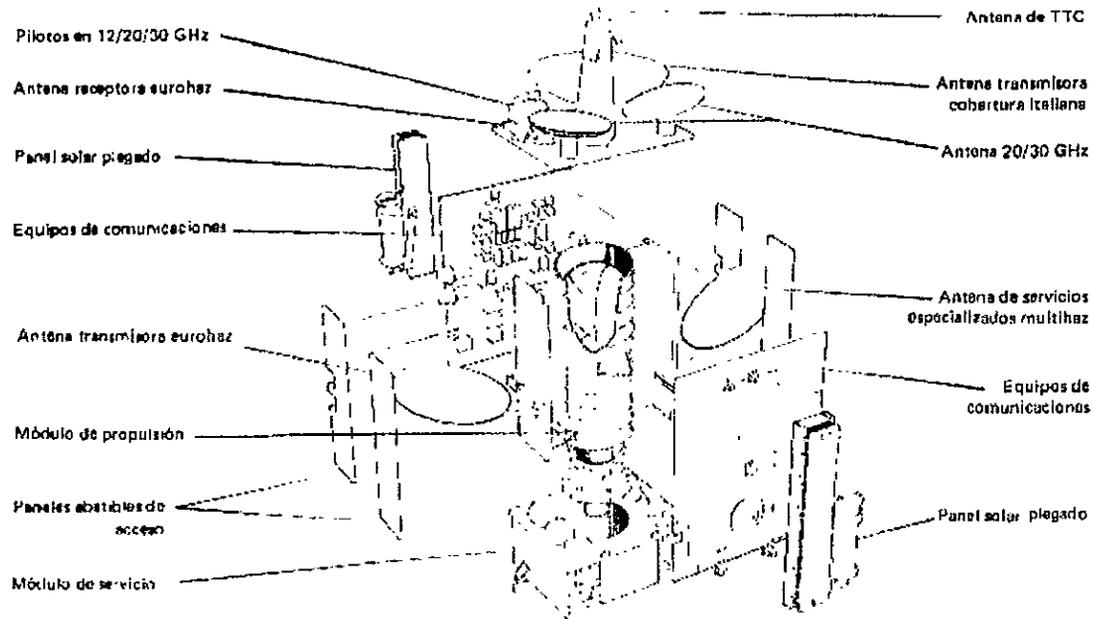


Fig. 8.2 Componentes generales del satélite Olympus 1.

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.

**ESTA TEXTO NO DEBE  
SALIR A LA BIBLIOTECA**

## CONCLUSIONES

Los tipos de satélites que se estudiaron en este trabajo son usados, en la actualidad, como satélites repetidores de radiofrecuencia, a los que se les da el nombre de satélites convencionales. Pero no deben pasar desapercibidos otros tipos de satélites, conocidos como satélites inteligentes, los cuales no sólo van a ser usados como repetidores de frecuencia, sino que además van a realizar enlaces entre satélites sin que tenga que retransmitirse la señal a alguna estación terrena y retransmitirla de nueva cuenta a otro satélite para realizar el enlace.

Estos satélites de la nueva generación contarán con mayores innovaciones y mayor vida útil, que los satélites convencionales.

En este trabajo se habló de forma breve y sencilla sobre los tipos de satélites, así como de su estructura y funcionamiento. A raíz de que estos temas son muy complicados y extensos, se trataron de abarcar en forma general las características de funcionamiento como; los sistemas de antenas, los diferentes accesos de los sistemas de comunicación, el sistema de energía, el control térmico, etc., así como las características de cómo se conforma la estructura de los satélites.

Por último, se ha comprobado que la mayor utilización de los satélites como medio de comunicación, no sólo permite extender, hasta donde se precise, 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.

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

## BIBLIOGRAFIA

### **Los Satélites de Comunicaciones**

J.J.G. Ruiz 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

Charles W Bostian

John Wiley & Sons