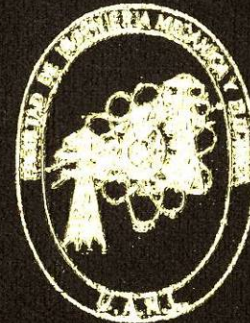
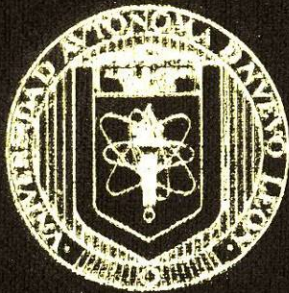


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



SATELITES DE COMUNICACION
GEOESTACIONARIOS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

FELIPE RIVERA BARRERA

CD. UNIVERSITARIA

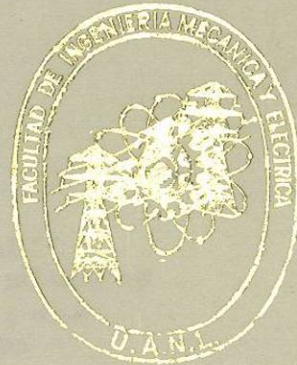
JULIO DE 1996

T
TK5104
R5
C.1



1080064371

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



SATELITES DE COMUNICACION
GEOESTACIONARIOS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

FELIPE RIVERA BARRERA

CD. UNIVERSITARIA

JULIO DE 1996

T
TK5104
R5



Biblioteca Central
Magna Solidaridad

F. APSIS

BURAOI RANDOLFI

UA V

FOT

TESIS LIC

TURA

Agradezco a mis padres
y a mis hermanos por
haberme brindado su
apoyo incondicional
para poder realizar
la culminación de mis
estudios profecionales.

Agradezco a los catedráticos
que me brindaron conocimientos
y consejos importantes para
poder desempeñarme como
profecionista .

Agradezco a mis amigos
por brindarme su amistad
sincera en todo momento.

F.R.B. Julio de 1996.

I. INTRODUCCION

El origen de los satélites de comunicaciones	1
La comunicación vía satélite, una necesidad	1

II. GENERALIDADES

Satélite (definición)	3
Clasificación de los satélites	3
Ventajas de la comunicación vía satélite	5

III. SATELITES DE GRAN ALTURA (GEOESTACIONARIOS)

El satélite de comunicaciones	7
La órbita geoestacionaria	8
Período orbital	10
Pérdidas de transmisión y asignación de frecuencia	11

IV. COMO LLEGAR A LA ORBITA GEOESTACIONARIA

Inyección directa en órbita geoestacionaria	14
Inyección inicial en órbita elíptica	14
Inyección inicial en órbita circular baja	16

V. MEDIO AMBIENTE

El satélite en órbita geoestacionaria	18
Fuerzas perturbadoras	20
Temperatura	21

VI. DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE

El INTELSATIII	23
----------------------	----

VII. PRINCIPALES SUBSISTEMAS DEL SATELITE	27
--	-----------

VIII. EL ENLACE TIERRA-SATELITE-TIERRA

Circuito hipotético de referencia 53

IX. ACCESO MULTIPLE

Definición y clasificación 56

X. RELACION DE LOS SATELITES GEOESTACIONARIOS DE COMUNICACIONES

Satélites geoestacionarios que orbitan en banda C 58

Satélites geoestacionarios que orbitan en banda KU 63

I. INTRODUCCION

EL ORIGEN DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES

La mayoría de los expertos dan crédito a Artur C. Clarke, famoso escritor británico de ciencia ficción y autor de *"2001: space Odyssey"*, por su original idea de los satélites de comunicaciones geoestacionarios. En 1945 Clarke concluyó que un satélite con órbita circular, ecuatorial y con un radio aproximado de 42,242 Km. debería tener una velocidad angular igual a la de la tierra. Esto haría "ver" al satélite como un punto fijo en el espacio con respecto a un observador en la tierra y el satélite podría recibir y retransmitir señales desde casi cualquier punto del hemisferio. Con tres satélites espaciados entre sí 120 grados se podría cubrir prácticamente todo el globo, ya que Clarke consideró la posibilidad de que las señales pudieran ser retransmitidas entre satélites.

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

LA COMUNICACION VIA SATELITE, UNA NECESIDAD

Algunas formas de comunicación previas a la comunicación vía satélite lo fueron las ondas de radio de la banda HF, el cable y las redes terrenas de microondas.

En lo que respecta a las radiocomunicaciones por onda corta (banda HF) éstas sólo pueden proporcionar un número limitado de canales debido a la estrechez del ancho de banda utilizable. Hay que recordar, que *a mayor frecuencia portadora se dispone de un mayor ancho de banda* y por lo tanto de mayor capacidad; en la actualidad la banda ya está saturada. Además la propagación en esta banda está afectada por factores aleatorios ya que depende de la ionósfera, la cual es

esencialmente irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre.

Al considerar los enlaces de microondas en redes por tierra los problemas de ancho de banda (capacidad) y la incertidumbre por la ionósfera son ampliamente superados constituyendo un medio de gran confiabilidad y capaz de manejar una gran capacidad de enlaces intercontinentales por la imposibilidad de instalar repetidoras con las características que ellas exigen, en medio de los océanos (no olvidemos que las microondas solo se propagan a línea de vista, es decir, en línea recta). Fuera de esta dificultad, económicamente son convenientes.

En lo que respecta a los cables (sobre todo cables submarinos) tienen un ancho de banda, que aunque es amplio, es limitado y su costo aumenta lógicamente con la extensión.

Del análisis efectuado anteriormente surgió una alternativa como solución de los problemas planteados y consiste en establecer la comunicación mediante el uso de una repetidora colocada en el espacio: el satélite.

La utilización hace factible el uso de las microondas con las ventajas inherentes a las mismas en cuanto a capacidad, agregándose a esto la ventaja que significa el poder utilizar una sola repetidora para enlazar dos puntos situados a distancias considerablemente grandes en vez de una red de 30 o más repetidoras. Por otra parte el satélite permite el “salto” de los océanos para lograr la comunicación intercontinental de alta capacidad.

Aunque la comunicación vía satélite como una necesidad para comunicar lugares muy distantes, como por ejemplo: un continente con otro continente, hoy en día se utiliza para comunicar lugares situados en el mismo continente y aún dentro del mismo país.

II. GENERALIDADES

SATÁLITE: *Definición*

Un satélite no es más que una repetidora (en el rango de las microondas) puesta en el espacio. Un satélite no crea transmisiones por sí mismo, solo retransmite ó revela lo que recibe de la Tierra. El satélite recibe la señal proveniente de la Tierra en la banda llamada *up-link* y la regresa en la banda *down-link* produciéndose un retardo de aproximadamente 0.26 segundos.

CLASIFICACION DE LOS SATELITES

- 1.- DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE OPERACION. Podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Consideremos a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite (grabación, reproducción, amplificación, cambio de frecuencia, etc.).
- 2.- DE ACUERDO A SU APLICACION. Podemos clasificar a los satélites en dos grupos: civiles y militares. Dentro de los civiles podemos incluir los de comunicaciones, los meteorológicos, los de investigación, etc.. Nuestro interés en este curso se centrará en los de comunicaciones.
- 3.- DE ACUERDO A SU ORBITA. Por su órbita los podemos clasificar en *GEOESTACIONARIOS Y NO GEOESTACIONARIOS*. un satélite geoestacionario es aquel que permanece fijo con respecto a la tierra, es decir, visto desde la tierra aparecerá como un punto fijo en el cielo. Un satélite no geoestacionario aparecería siempre en movimiento con respecto a la tierra, un ejemplo de esto es la luna.

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

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

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

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

Técnicamente la diferencia entre un satélite y otro es solamente la antena que es la que define el tipo de cobertura. En el caso de un satélite de cobertura global, por ejemplo: corneta, mientras que en los de cobertura doméstica, los MORELOS por ejemplo, la antena es de tipo parábola. Los sistemas globales son para comunicaciones locales, (dentro del mismo país).

VENTAJAS DE LA COMUNICACION VIA SATELITE

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

- 2.- **MAYOR CALIDAD.** debido a que cualquier proceso electrónico degrada la señal al agregar algo de ruido (aunque sea en grado mínimo), debemos considerar la gran ventaja de manejar un enlace a través de una sola repetidora (el satélite), y por lo tanto una sola fuente de ruido, comparando contra un enlace utilizando una red de microondas de 20 ó más repetidoras, por lo tanto 20 ó más fuentes de ruido. definitivamente la calidad de la señal en un enlace vía satélite es mucho más alta que un enlace a través de una red de microondas.

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

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

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

III. SATELITES DE GRAN ALTURA (GEOESTACIONARIOS)

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

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

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

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

Así como por ejemplo, el "Syncom II" que estuvo colocado a 22 grados de longitud Oeste, pudo "verse" desde un gran número de países correspondientes a los continentes de América del Norte, América Central, Europa y Africa.

El experimento Syncom colocó un satélite aproximadamente a 36,000 Km. arriba del ecuador de la tierra y apuntó la dirección de avance del satélite a lo largo de una línea idéntica a la de rotación de la tierra sobre su eje. Controlando cuidadosamente (desde la tierra a través de sistemas de mando por radio) la velocidad de avance del satélite y sincronizándola a la velocidad de rotación de la tierra sobre su eje, el satélite

alcanzó lo que se conoce como *órbita geoestacionaria*. Esto es, el satélite se mueve al frente con la misma velocidad que la tierra sobre su eje, y esto significa que para una estación transmitiendo o recibiendo localizada en la tierra, el satélite siempre está situado en el mismo punto relativo en el cielo. se requiere de un sistema muy cuidadosamente diseñado para el lanzamiento puesta en órbita del satélite.

El mayor problema de un sistema de comunicación que opera con satélites geoestacionarios o fijos, es el retardo de la señal, alrededor de 0.26 segundos, para una comunicación de un solo salto, es decir, estación terrena-satélite-estación terrena.

LA ORBITA GEOESTACIONARIA

Las condiciones para que el satélite guarde una órbita geoestacionaria son las siguientes:

- 1.- La órbita debe ser circular
- 2.- La órbita debe ser ecuatorial
- 3.- La altura sobre el nivel del mar debe ser 35,890 Km.
- 4.- El satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la tierra.

Al cumplir con estas condiciones se logra un período de 24 horas lo cual aunado a la órbita ecuatorial alrededor del mismo eje de rotación de la tierra permite la sincronización y por lo tanto la órbita geoestacionaria lo cual es derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífuga y de la atracción mecánica espacial la cual rige el movimiento de los planetas y de nuestros satélites artificiales. Una vez que el satélite se fija en su posición, es necesario estabilizarlo y corregir su posición constantemente ya que existen fuerzas externas que se encargan de moverlo. Los subsistemas de propulsión son los encargados de realizar esta "maniobras". Los motores de maniobra y los motores de orientación son alimentados normalmente por combustibles que operan propulsores químicos, el más utilizado es la Hidrazina Monopropelente aunque la tendencia apunta hacia la utilización de sistemas bipropelentes, (con dos propelentes

distintos: un combustible y un oxidante). De hecho, es este combustible el que determina la vida útil del satélite el cual en promedio es de 10 a 14 años.

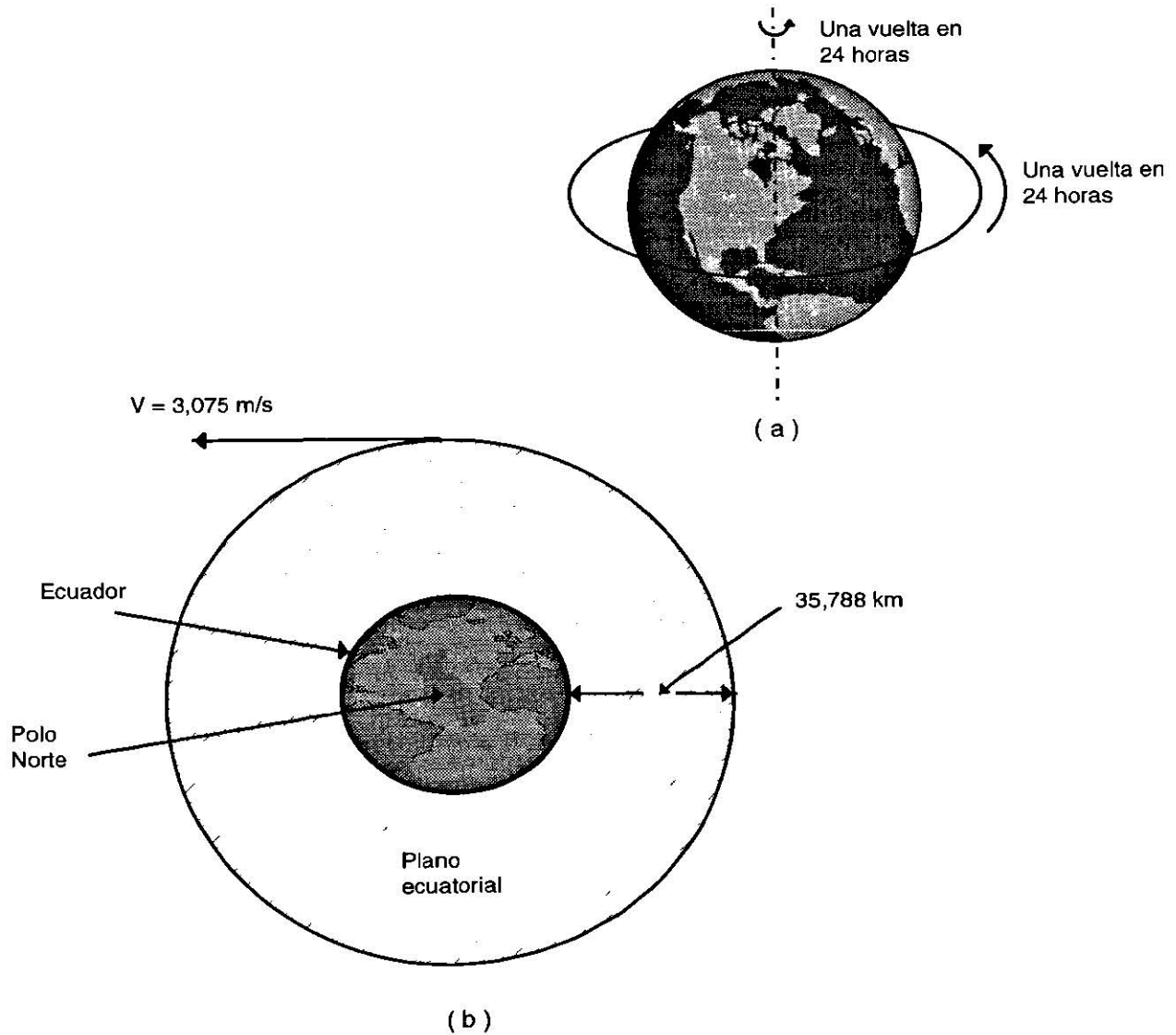


Fig. 3.1. Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven. a) Vista lateral; b) Vista superior.

PERIODO ORBITAL

En este sistema el satélite conserva una órbita ecuatorial de aproximadamente 24 horas, de período orbital. Este período orbital, para el caso de una órbita circular, se encuentra definido por la ley de Kepler, que enuncia lo siguiente:

$$P_o^2 = \frac{4(\pi)^2 (R + h)^3}{\mu}$$

donde:

P_o = período orbital (seg)

R = radio de la tierra (m)

h = altura del satélite (m)

μ = constante de Kepler

El valor de la constante de Kepler es: $(3.99 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{seg}^2)$

Ecuación derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de atracción gravitacional. Para un período orbital aproximadamente de 24 horas, el satélite se encuentra en un altura aproximadamente 35,890 Km., tomando automáticamente la condición estacionaria, para un observador desde la tierra. El período relativo se determina por la relación siguiente:

$$P = \frac{24P_o}{24 - P_o}$$

Donde P esta definido como un período relativo. Se observa en esta ecuación que el período relativo de un satélite de período orbital de 24 horas es infinito.

PERDIDAS DE TRANSMISION Y ASIGNACION DE FRECUENCIAS

Los satélites en general, como parte de un sistema de comunicaciones, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la tierra. Para el caso de los satélites geoestacionarios, por la distancia desde la tierra. Para el caso de los satélites geoestacionarios, por la distancia que conservan respecto a la tierra (35,890 Km), requieren de dispositivos adicionales que permitan compensar las pérdidas ocasionada en el espacio libre.

Se puede observar en la ecuación siguiente que la potencia recibida desde una estación espacial (satélite), es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia o inversamente proporcional a las pérdidas en el espacio libre.

$$Pr = \frac{PtGtGr}{(4\pi d)^2} (\lambda)^2$$

donde :

P_t = Potencia de Transmisión

G_t = Ganancia de antena de Transmisión

G_r = Ganancia de antena de Recepción

λ = Longitud de onda

d = distancia entre satélite y estación terrena

y

$$\frac{(\lambda)^2}{(4\pi d)}$$

determina las pérdidas en el espacio libre.

Dispositivos activos, como amplificadores a diodo túnel, GaAsFET, y tubos de onda progresiva de alto y bajo nivel, permiten compensar las pérdidas en el espacio

libre mencionadas. Se incluyen, además de este tipo de dispositivos, osciladores y mezcladores para transponer o abatir las frecuencias recibidas de las transmitidas, con objeto de evitar interferencias sufridas en el satélite por el uso de una misma frecuencia para transmisión y recepción. De esta forma un satélite geoestacionario, como parte integral de un sistema de comunicaciones, tienen la siguiente característica :

$$F_t \neq F_r$$

donde :

F_t = Frecuencia de transmisión

F_r = Frecuencia de recepción

La designación de las *primeras bandas* de frecuencias, dadas a conocer en la Conferencia Extraordinaria Radioadministrativa, celebrada en Génova, en 1963, después de considerar que en frecuencias menores de 1 GHz. El ruido estático y cósmico aumenta y que a frecuencias mayores de 10 GHz. Las ondas son absorbidas por el oxígeno o el vapor existente en el aire cuando pasan a través de la zona atmosférica y considerando que el ruido es un coeficiente que depende de la elevación sobre un plano horizontal, acordó finalmente apta la gama de frecuencias comprendidas entre 1 y 10 GHz. (referidas como radioventana); para ser utilizadas en comunicaciones vía satélite, quedando designadas para usarse en el sistema de comunicación por satélite las frecuencias de 5,925 - 6,425 MHz. Para la transmisión de tierra a satélite y de 3,700 - 4,200 MHz. Para la transmisión de satélite a tierra (Hoy conocida como banda "C") Posteriormente con el desarrollo de nueva tecnología algunos de los problemas existentes fuera del rango de 1 a 10 GHz. Han sido debidamente compensados (sobre todo con el desarrollo de dispositivos de bajo nivel de ruido) de modo que actualmente se manejan adicionalmente otras bandas.

En conclusión, los satélites, en general, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la tierra (señal up-link), para retornarlas en otra banda de frecuencia (señal down-link). Las bandas más utilizadas son las siguientes :

	BANDA “C” MHz	BANDA “Ku” MHz	BANDA “KA” Mhz
ascendente (up-link)	5,925 a 6,425	14,000 a 14,500	27,500 a 31,000
descendente (down-link)	3,700 a 4,200	11,700 a 12,200	17,700 a 21,200

IV. COMO LLEGAR A LA ORBITA GEOESTACIONARIA

Para llevar a un satélite a la órbita geoestacionaria existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

INYECCIÓN DIRECTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA

El satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke sin que necesite esfuerzos propios.

La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y solo se utiliza para lanzar satélites militares ; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a órbita, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta. El cohete Titán IIIC de los EE. UU. Es un ejemplo de lanzador que puede emplearse con este fin.

INYECCION INICIAL EN ORBITA ELIPTICA

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

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona esta normalmente a una altura aproximada de 200 Km, que es la altura final en al que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado ; obviamente, el encendido se efectúa después

de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del *motor de apogeo* resulte en la dirección correcta. Al encenderse este, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geoestacionaria. Los lanzadores Ariane de la Agencia Espacial Europea, comercializados por Arianespace, así como los cohetes Delta y Atlas-Centauro de EE. UU. entre otros, operan bajo los principios de esta segunda técnica.

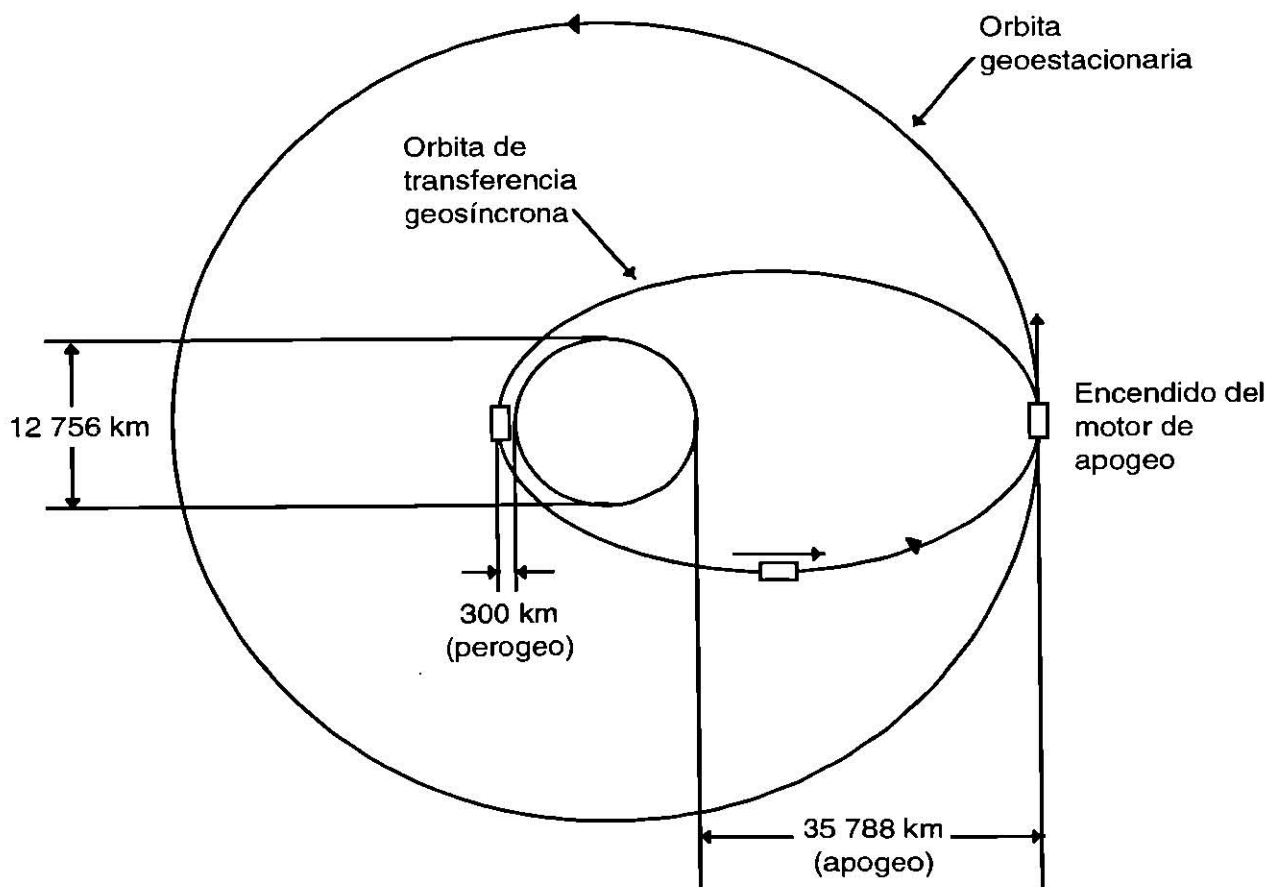


Fig. 4.2. Algunos cohetes, como los Ariane de la Agencia Espacial Europeo, colocan a los satélites geoestacionarios en dos pasos. El satélite se pone primero en una órbita elíptica de transferencia geosíncrona y después de varias vueltas, en uno de los apogeos se enciende un motor que circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geoestacionaria.

INYECCION INICIAL EN ORBITA CIRCULAR BAJA

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

El orbitador despegando llevando al satélite en su compartimiento de carga y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km. sobre el nivel del mar.

En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando de esta forma también en órbita circular baja alrededor de la Tierra, aunque separado del vehículo espacial, la velocidad inicial del satélite es la misma que la nave, aunque ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de la carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola en circular baja o de estacionamiento a una elíptica. Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se enciende para circularizar la órbita con su altura final.

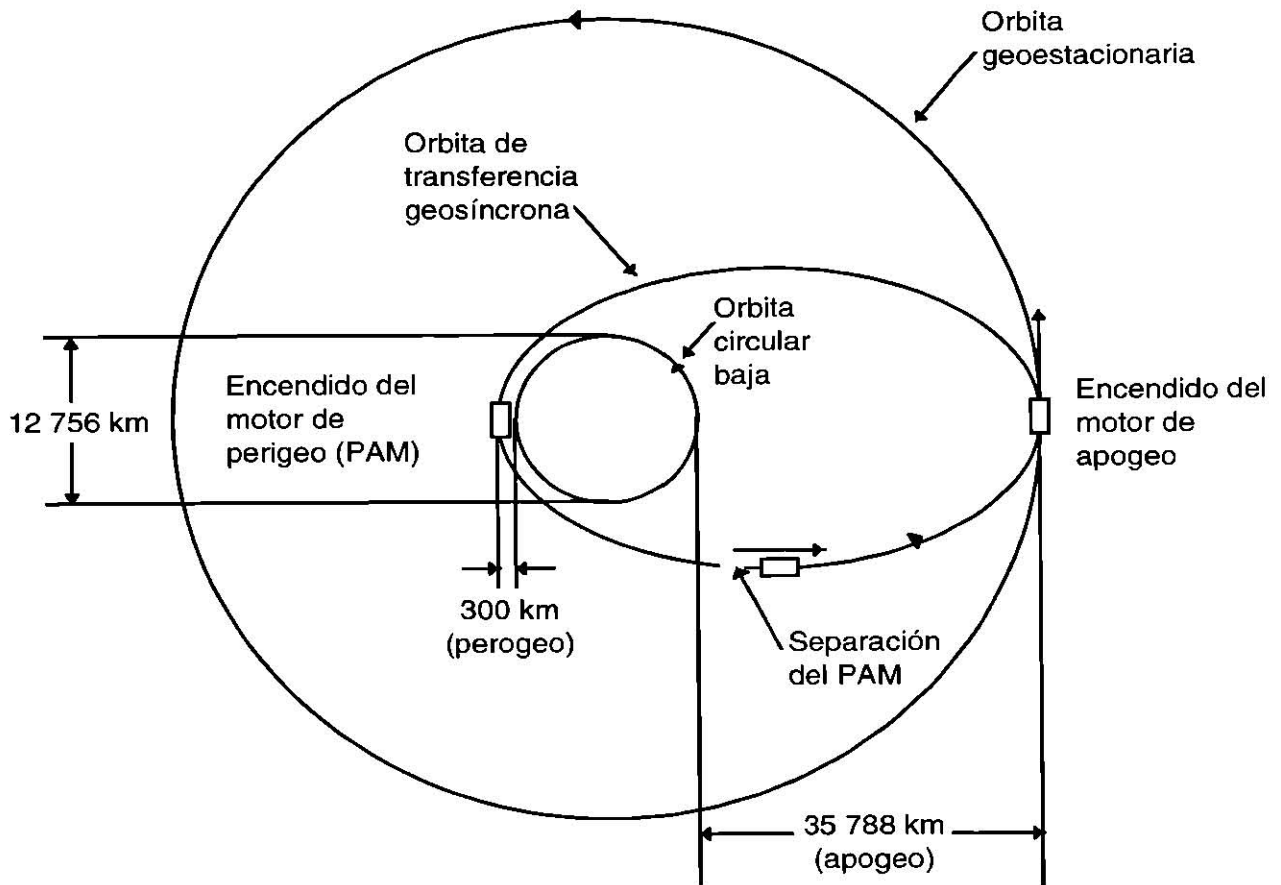


Fig. 4.2. Los orbitadores de la NASSA colocan al satélite en una órbita circular baja. Para que éste llegue a su posición geostacionaria final deben seguirse otros dos pasos, mediante el encendido de un motor de perigeo y después el de un motor de apogeo.

V. MEDIO AMBIENTE

EL SATELITE EN ORBITA GEOESTACIONARIA

El satélite ha llegado a su posición final en la órbita autorizada a su propietario con años de anticipación por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Sin embargo, no es el primero en llegar ahí; hay muchos otros satélites en la misma órbita, algunos jóvenes y otros viejos, de configuraciones, tamaños y aplicaciones distintas ; muchos de ellos reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado también usará durante su funcionamiento, por muchos años. Afortunadamente, aunque todos son vecinos, no se encuentran colocados en el mismo punto; de hecho, están separados entre sí por dos o tres grados de arco, equivalente a 1,500 a 2,200 kilómetros respectivamente, con lo cual se garantiza que no exista ningún riesgo de interferencia radioeléctrica entre ellos. Además, la posición en longitud de cada uno depende de la zona geográfica que se encargue de intercomunicar.

De cualquier forma, hay ciertas secciones del cinturón de Clarke que son más codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico, debido a que sus lados se encuentran los países industrializados de América del Norte y Europa.

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

El satélite no puede del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirando de él de un lado a otro. A través del subsistema de propulsión del satélite, posible ayudarle a corregir su orientación y posición, enviándole comando a control remoto en forma periódica.

En la figura 5.1 se muestran dimensiones de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio; Mientras el satélite se mueva dentro de ella, no habrá ningún problema, pero hay que rastrearlo permanentemente para observar su posición y encender el subsistema de propulsión a control remoto antes de que se salga, para así regresarlo hacia el otro lado de la caja. Se necesita contar en tierra con un centro de control espacial computarizado y que el satélite le envíe cierto tipo de información, que le permite a los operadores y a las computadoras, hacer sus cálculos y tomar las decisiones correctas.

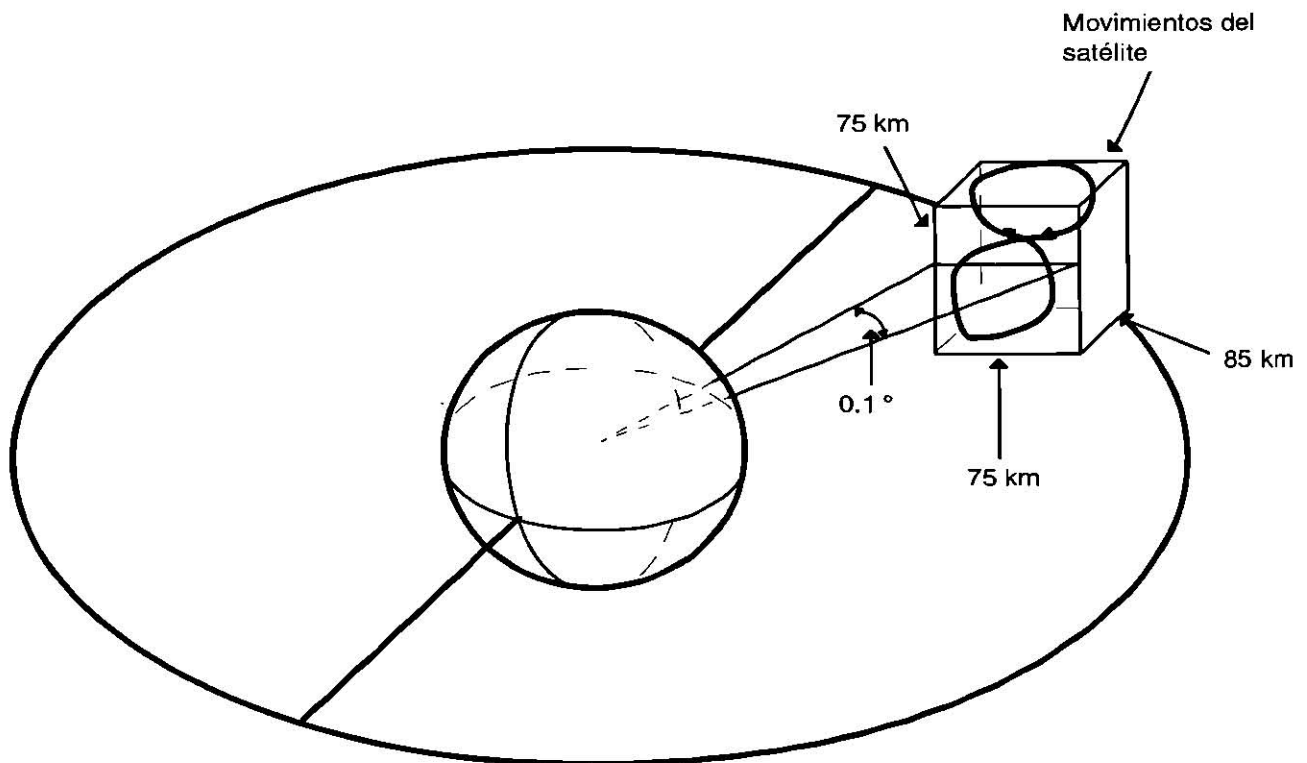


Fig. 5.1. Siempre y cuando el satélite no se salga de esta gran caja imaginaria no hay ningún problema.

FUERZAS PERTURBADORAS

La fuerza que más afecta es el campo gravitacional de la Tierra. Este campo no es esféricamente uniforme, pues la distribución de la masa del planeta no es homogénea.

La Tierra no es una esfera perfecta, sino que esta achatada en sus polos, y el círculo ecuatorial no es en realidad un círculo, sino una elipse, aunque de muy poca excentricidad; el eje mayor de ésta es 150 metros más largo que el eje menor.

La uniformidad del campo gravitacional de la Tierra, combinada con el hecho de que la estructura del satélite tampoco tienen una masa homogénea, puesto que sus componentes están fabricadas con una diversidad de materiales, produce un par gravitacional. Este par o fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad o aceleración provoca a su vez que el satélite cambie de posición en longitud, es decir, que se mueva a la derecha o a la izquierda (oeste o este) sobre el arco geoestacionario, dentro de la caja imaginaria de la figura.

La Luna también ejerce una ligera fuerza gravitacional perturbadora. Sin embargo, como esta última es mucho más pequeña que la Tierra además se encuentra diez veces más lejos del satélite que este de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo al igual que en el caso de la fuerza gravitacional perturbadora del Sol. De cualquier manera, la combinación de estas fuerzas produce un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial, es decir, hacia arriba o hacia abajo (norte o sur) dentro de la caja imaginaria.

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura. El principal efecto de esta fuerza es cambiar la excentricidad de la órbita del satélite, y como la resultante no incide precisamente sobre su centro de masa, al mismo tiempo se produce un giro, que cambia su orientación con respecto a la superficie del planeta.

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

Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solamente por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite también genera otras fuerzas perturbadoras. El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerza que afectan al satélite. Conviene mencionar que conforma los tanques de combustible se van vaciando, el centro de masa del satélite cambia.

Por último, como puede verse, el nuevo hogar del satélite es muy inestable, y por ellos su subsistema de propulsión es sumamente importante para poder mantenerlo dentro de la habitación que le corresponde en el espacio.

TEMPERATURA

El satélite está integrado por un gran número de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales y diseñados para realizar funciones diversas. Por ejemplo, las celdas solares trabajan con mayor eficiencia entre los -100°C y $+50^{\circ}\text{C}$, las baterías solamente entre 0°C y $+20^{\circ}\text{C}$, y los tanques de combustible deben estar entre $+10^{\circ}\text{C}$ y $+50^{\circ}\text{C}$; el equipo electrónico y los sensores infrarrojos, entre otros componentes, también requieren rangos específicos de temperatura para funcionar bien. Por lo tanto, es preciso garantizar un control térmico eficaz en la estructura del satélite y en cada uno de sus equipos para que no falle. El mecanismo para hacerlo es muy complejo, pues se necesita mantener un balance técnico entre la energía que el satélite recibe por la radiación de fuerzas externas y la energía que él mismo disipa internamente. El problema se complica aún más si se considera que la energía de las

fuerzas externas cambian constantemente conforme el satélite gira alrededor de la Tierra, ya que según la hora del día y época del año la magnitud de la radiación que recibe del Sol y de la Tierra es variable.

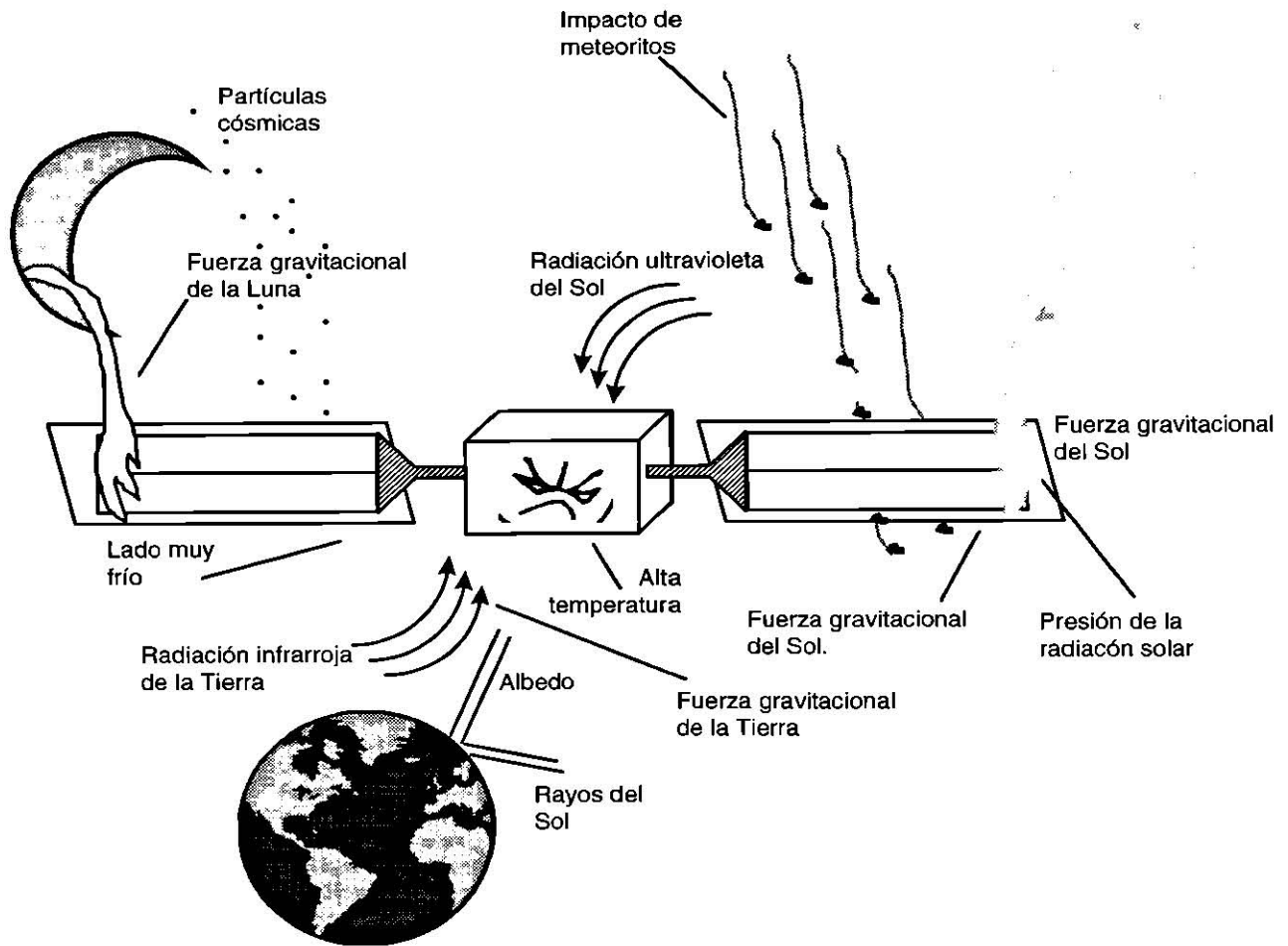


Fig. 5.2. Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite.

VI. DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE

EL INTELSAT III

Si bien hemos escogido el satélite Intelsat III como modelo típico de un satélite de comunicaciones, su diagrama y su descripción son válidos para otros satélites incluyendo los de modelos diferentes y de más capacidad como los actuales. A lo largo de la explicación se harán los comentarios correspondientes para hacer posible esto.

La figura 6.1 muestra el diagrama a cuadros de un satélite de la serie Intelsat III. Donde la ruta de transmisión-recepción se conoce con el nombre de transponder el cual recibe las portadoras de radiofrecuencia (RF) en el orden de los 6 GHz y las convierte a 4 GHz (suponiendo banda "C") amplificadas antes de ser retransmitidas, con objeto de aumentar la potencia de transmisión en el satélite por asignación a cada transponder de una fracción de la banda total.

La evaluación general de funcionamiento del equipo montado en el satélite, así como el control del mismo, son factores importantes para predecir su tiempo de vida útil. Estos datos son conocidos en la tierra a través de una estación monitorea denominada de telecomando y control cuya función es interpretar las señales de telecomando y control recibidas desde el satélite y transferir codificadas las instrucciones necesarias para corregir un desarrollo anormal imprevisto.

Haciendo referencia a la figura 6.1, estas señales son recibidas por la antena omnidireccional del satélite (antena de monitoreo), pasan por el amplificador a diodo túnel, el convertidor de frecuencias (formador por el mezclador y el oscilador local) y el tubo de ondas progresivas de baja potencia, e insertadas al decodificador de telecomando, a través de un filtro acoplador. Ahí son procesadas antes de aplicarse al circuito de control que puede ser el encendido del motor de apogeo para corregir la órbita, encender un amplificador a tubo de ondas progresivas, etc.

Haciendo referencia a la misma figura 6.1 a continuación se delinea el funcionamiento básico de los componentes utilizados en la trayectoria de la señal de comunicaciones.

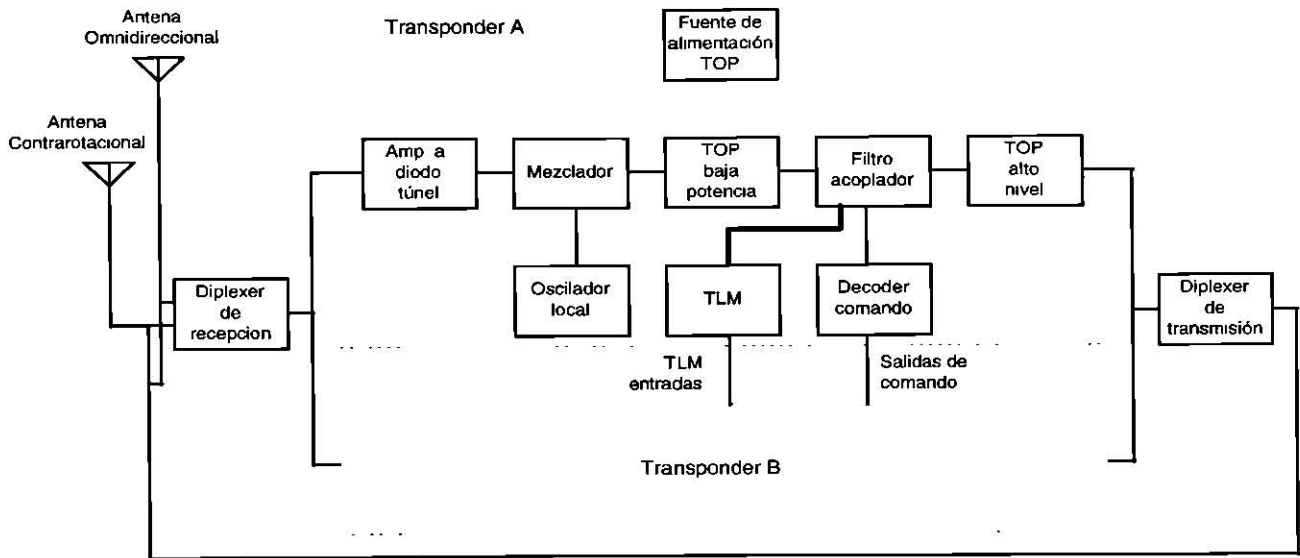


Fig. 6.1.

a) ANTENA

Las señales de comunicaciones enviadas desde la estación terrena en frecuencia del orden de los 6 GHz. Son recibidas por la antena contrarrotacional (este sistema de antena permite mayor estabilidad al satélite) y pasadas al depléxer de recepción.

Debemos aclarar aquí, que el satélite Intelsat III fué un satélite de cuerpo cilíndrico estabilizado por giro (semejante a los Morelos mexicanos) lo que consecuentemente obliga a utilizar una antena contrarrotacional, con giro contrario al del satélite es valido, como se mencionó anteriormente, para un satélite cualquiera de los actuales solo con la consideración, en este punto, de que la antena no sería contrarrotacional para un modelo de cuerpo cúbico con aletas donde solo nos

referíamos a la antena como la “antena de comunicaciones” para diferencia de la de monitoreo (la omnidireccional).

b) DIPLEXER DE RECEPCION

En el depléxer de recepción son separadas las diferentes bandas (o portadoras) de comunicación para ser alimentadas a su respectivo transponder o canal.

c) AMPLIFICADOR A DIODO TUNEL

Siguiendo la trayectoria a través de un transponder, observamos que esta es amplificada en el amplificador a diodo túnel que tienen aproximadamente 31 dB de ganancia y una figura de ruido de 4.3 dB.

Nuevamente debemos mencionar aquí, que si queremos generalizar el diagrama, es conveniente referirnos a éste amplificador como un LNA (amplificador debajo ruido) y considerar que en la mayoría de los satélites modernos se utilizan como dispositivos activos los transistores de efecto de campo de arseniuro de galio o GaAsFET.

d) MEZCLADOR

En esta parte son mezcladas las señales de 6 GHz, para convertirlas en señales de orden de los 4 GHz. (Abatidas o transpuestas 2,225 MHz en banda “C”), en ésta misma parte se cuentan con filtros que eliminan las señales espurias indeseables, producto de la mezcla, permitiendo el acceso al amplificador de tubo de ondas progresivas (TXT) a las señales útiles de comunicaciones.

En el caso de que la banda utilizada fuera la banda “Ku” el cambio de frecuencia en el mezclador es de 2,300 MHz. En cualquiera de los casos observe que la frecuencia de bajada siempre será menor que la de subida. Esto es así por el hecho de que la señal de bajada está limitada en cuanto a su potencia por la capacidad de las celdas solares que son la única fuente de energía eléctrica disponible en el satélite y

considerando que a mayor frecuencia existen más pérdidas de propagación es preferible seleccionar la que tenga menos pérdidas (la menor frecuencia) para la bajada y lograr que llegue a tierra con un mayor nivel de potencia que si se escogiera la de mayor frecuencia. En el caso de la señal de subida, el problema no es tan crítico ya que en tierra se dispone de otras fuentes de energía para, previamente, compensar las posibles pérdidas.

e) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE BAJA POTENCIA

Las señales de comunicaciones son amplificadas en esta parte del equipo.

f) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE ALTA POTENCIA

Aquí las señales de comunicación son finalmente amplificadas al nivel adecuado de transmisión.

NOTA: Ambos tubos de ondas progresivas pueden ser agrupados en un solo cuadro designado como HPA (amplificador de alta potencia). En algunos sistemas modernos este amplificador está construido de dispositivos de estado sólido.

g) DIPLEXER DE TRANSMISION

Las señales de todos los transponder son combinados para ser alimentadas a la antena de comunicaciones que se encargará de transmitir la información hacia la tierra.

VII. PRINCIPALES SUBSISTEMAS DEL SATELITE

INTRODUCCION

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la Tierra; sus subsistemas más importantes se indican en la tabla 7.1.

TABLA 7.1. Principales subsistemas de un satélite y sus funciones

Subsistema	Función
1 Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia
2 Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia
3 Energía Eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente
4 Control térmico	Regular la temperatura del conjunto
5 Posición y orientación	Determinar la posición y orientación del satélite
6 Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y la orientación
7 Rastreo, telemetría y comando	Intercambiar información con el centro de control en Tierra para conservar el funcionamiento del satélite
8 Estructural	Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto

SUBSISTEMAS DE ANTENAS

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite, las transmiten de regreso hacia la Tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas de las que transmiten, pero también y elementos de alimentación diferentes. Los elementos de alimentación, denominados alimentadores, son generalmente antenas de corneta conectadas a guías de onda que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores.

Las antenas son el puerto de entrada y de salida de ese mundo electrónico que es el interior del satélite, son la interfase o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan de varios de sus subsistemas.

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. Cuanto más grande son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. Por otra parte, cuanto más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía; ésta es una característica propia de las antenas parabólicas y en general, de todas las antenas llamadas “de apertura” cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto en función directa de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

La *dimensión eléctrica* de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación, o sea, es el número

de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca. Cuanto más alta es la frecuencia, la longitud de onda electromagnética es más corta y el tamaño eléctrico de la antena aumenta.

Los haces de iluminación de estas antenas, por ser tan angostos, reciben el nombre de *haces pincel o puntuales*.

La cobertura de cada haz, denominada huella de iluminación, esta limitada por un contorno muy irregular. La irregularidad de estos contornos esta hecha a propósito por los diseñadores de las antenas del satélite, aunque es mucho más sencillo construir una antena cuya huella de iluminación sea un círculo o una elipse; de esta forma no se desperdicia potencia transmitiéndola a puntos geográficos en los que no hay tráfico o estaciones terrenas transmisoras y receptoras, y en cambio se aprovecha mejor que concentrándola para que ilumine solo los lugares geográficos en los que sí hay densidades importantes de población, equipos y gran demanda de servicios de comunicación. Como las huellas de iluminación tienen ciertos contornos, al haz que irradia cada una de estas antenas se le llama *haz de contorno*, independientemente de la extensión que abarque.

La antena de telemetría y comando, encargada de recibir las señales que contienen órdenes emitidas por el centro de control en la Tierra, para que se efectúe alguna corrección a bordo; también es responsable de enviarle al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todo el satélite, con el fin de que en la Tierra se pueda saber que ocurre en su interior, donde está y como está funcionando en general.

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

SUBSISTEMAS DE COMUNICACIONES

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 subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

El diagrama de la figura 6.1 muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones; es normal que algunos de estos equipos se instalen repetidos, o sea, que sean redundantes, para que en el caso de que uno de ellos se descomponga, exista aún la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y transmisión, para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro.

Este subsistema, incluyendo el de las antenas, es el mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidad es planificar el uso del satélite, es decir, asignar las trayectorias o transpondedores en los que deben de ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencia más baja y más alta de las que se transmiten se le da el nombre de *ancho de banda*.

Los satélites de comunicaciones funcionan actualmente en las bandas de frecuencia C y Ku. En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación o sea, el rango de frecuencias disponibles, es de 500 MHz para transmisión y 500 MHz para recepción. Existen satélites híbridos que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente tanto en la banda C como en la Ku.

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. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias, pues su ancho de banda de recepción es igual o mayor a 500 MHz,

con una frecuencia central de 6.175 GHz. Los transportadores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyo límites inferior y superior 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 se representa con la nomenclatura 6/4 GHz.

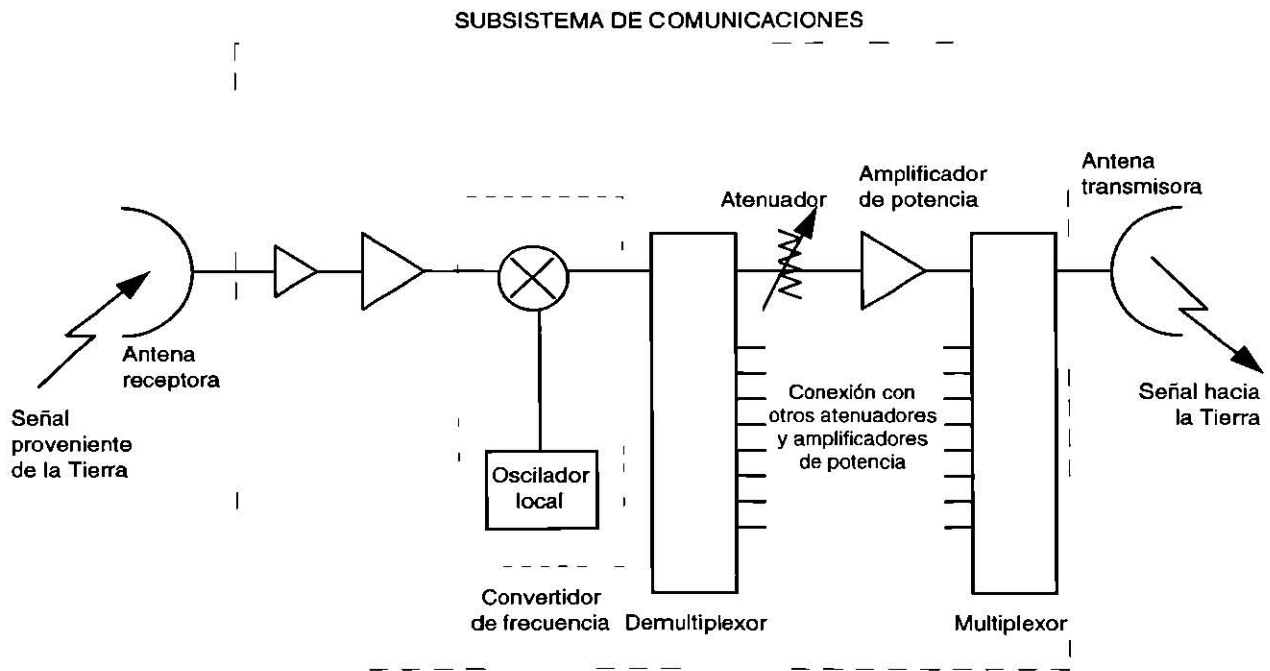


Fig. 6.1. Relación entre los subsistemas de antenas y comunicaciones

En la banda Ku, las frecuencias Tierra-satélite están entre 14.0 y 14.5 GHz, con una frecuencia central de 14.25 GHz, y las frecuencias satélite-Tierra están entre 11.7 y 12.2 GHz; en este caso, el enlace se representa con la nomenclatura 14/12 GHz.

En los satélites híbridos, los procesos descritos para las bandas C y Ku se llevan a cabo simultáneamente, a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes, el ancho de banda de un satélite usual de 500 MHz en total. Cuando un canal de televisión se transmite por satélite, al modularlo en frecuencia ocupa normalmente solo 36 de los 500 MHz disponibles, técnicamente esa ocupación puede hacerse en cualquier parte dentro de ese rango. Por conveniencia, el ancho de banda

de 500 MHz se divide en espacios o ranuras, cuyo número depende de la aplicaciones del satélite.

En la figura 6.2 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 de cada contiene. Cada ranura puede trabajar con un canal de televisión independiente, por lo que la capacidad del satélite en esta banda C de operación sería igual a 12 canales de televisión. También sería posible que en cada ranura cupiesen 2 canales de televisión o cientos de canales telefónicos de datos, la antena receptora del satélite capta diferentes clases de señales al mismo tiempo. Por lo tanto, es necesario aislarlas, para procesarlas y amplificarlas por separado, y ésta es una de las razones principales por las que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores; después del proceso, todas las señales se vuelven a juntar o agrupar, para que la antena transmisora las envíe hacia la Tierra.

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 amplificación. Todos los dispositivos electrónicos generan *ruido* principalmente por su calentamiento; este término se emplea para identificar a las señales nuevas, de diversas frecuencias, que son generadas interna e indeseablemente por el aparato. Si estas nuevas señales, ajenas a la información original, son muy grandes o intensas, entonces al sumarse con la segunda pueden alterar su contenido. La primera etapa de amplificaciones es muy importante, porque cualquier señal recibida por la antena es muy débil; después de haber recorrido 36,000 Km, procedente de la superficie de la Tierra, su nivel de potencia por este primer dispositivo de amplificación sea lo más bajo posible, y de ninguna manera compare en magnitud a ninguna de las débiles señales que están entrando en él.

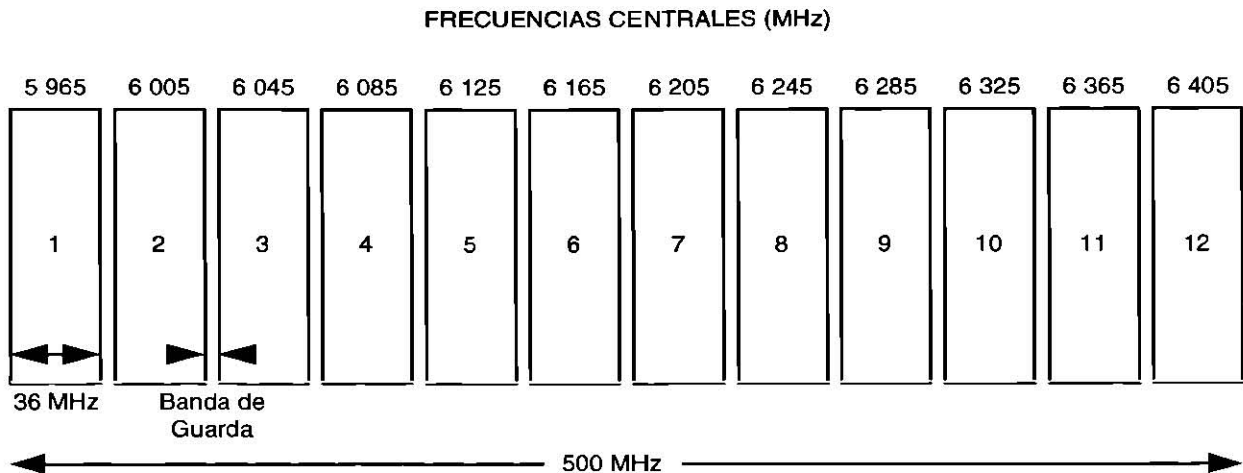


Fig. 6.2. Ancho de banda de un satélite que opera en la banda C, dividido en ranuras de frecuencias de 36 MHz cada una. Cada ranura corresponde a las frecuencias de trabajo de un transpondedor, y las frecuencias centrales que se indican son las que se usan para transmitir de la Tierra al satélite. Para la transmisión satélite-Tierra, con sus frecuencias centrales correspondientes.

El amplificador de bajo ruido tienen un ancho de banda muy grande, de 500 MHz, pues debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena. Es un dispositivo clave de cuyo correcto funcionamiento depende que la información siga fluyendo o no dentro del satélite, 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 si este en buenas condiciones. Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente, puesto que muy poca potencia de ruido se les ha sumado, continuará su viaje a lo largo de la trayectoria del transponder; en las etapas siguientes de amplificación se les seguirá introduciendo un poco más de ruido, pero su efecto ya no será tan problemático como hubiese podido serlo en la primera etapa de amplificación, porque ahora están vigorizadas con un nivel de potencia tal que las hace menos vulnerables.

Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como convertidor de frecuencia, que no es más que un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente.

Después de amplificar y cambiarla frecuencia de las señales, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques, cada grupo puede contener un solo canal de televisión o dos, cientos de canales telefónicos, un paquete de información digital. La separación se realiza con un *demultiplexor* que tienen un solo conducto de entrada y varios de salida. A él entra la información completa de 500 MHz de ancho de banda, y en su interior, mediante filtros, se separan los canales de bloques de 36 MHz cada uno. A continuación, cada bloque para por una etapa muy fuerte de amplificación, proporcionada por un amplificador de potencia, después todos los bloques son reunidos nuevamente en un solo conjunto de 500 MHz de ancho de banda, a través de un *multiplexor* conectado a la antena transmisora del satélite tal como se indica.

Se observa que después de cada salida del demultiplexor hay un *atenuador* o resistencia variable; esta sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia, o a la primera etapa de amplificación si es que hay más de una. La regulación de la intensidad de entrada permite operar al amplificador de potencia de distintas condiciones o puntos de trabajo, es decir, 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 esto ocurra, la potencia total de las señales que entran en ellos deben a la salida de un amplificador de potencia la máxima posible, es decir, operarlo en saturación, todo depende de la clase de información que contenga el bloque que se va a amplificar.

Por otra parte, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mejores resultados en la primera 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. Sin embargo el alto nivel de las señales amplificadas en esta etapa, que se convierte en la entrada a los amplificadores de potencia, en general con un atenuador variable -compuesto por varios atenuadores fijos en serie- antes de alimentar a cada amplificador de potencia.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tienen una frecuencia asignada denominada *portadora*. En la figura 6.3 se muestra un ejemplo usual de los que podría contener un transponedor 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 contienen 192 canales telefónicos agrupados y provenientes de una ciudad distinta.

El número de frecuencias portadoras que entrarían al amplificador de potencia sería mayor de uno e igual a cuatro, y como la características entrada-salida del amplificador es alineal se producirían internamente muchas señales adicionales e indeseables que a la salida se sumarían a la información original, distorsionándola. Estas señales indeseables se denominan en conjunto *ruido de intermodulación*, y su intensidad es cada vez mayor, y más dañina, conforma se trata de obtener más y más potencia a la salida del amplificador, hasta llegar quizá a la máxima posible, correspondiente al punto de saturación. Por esta razón, es preciso operar al amplificador de potencia en un punto de trabajo inferior al de saturación, para reducir así el ruido de intermodulación y su efecto sobre la información original, aunque para ello se tenga que sacrificar potencia de salida. Los atenuadores o resistencias variables permiten regular la intensidad de las portadoras y entregar menos o más amplificación de potencia, con un nivel aceptable de ruido de intermodulación.

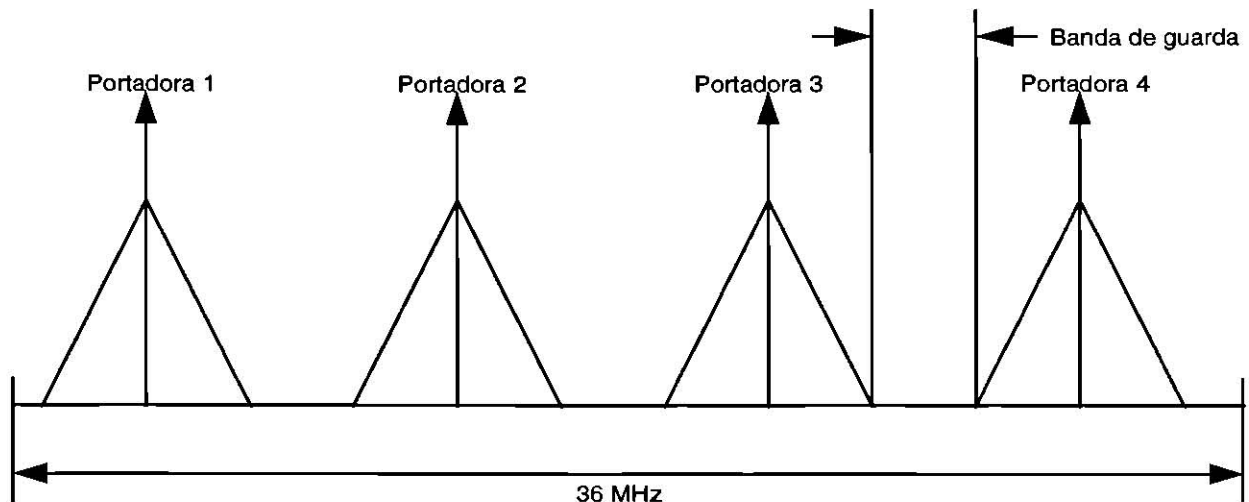


Fig. 6.3. Esta sería una posible configuración de la ocupación del espacio de frecuencias de un transpondedor de 36 MHz, por ejemplo, del número 8 de la figura. Cada triángulo representa una señal de telefonía que contiene 132 canales telefónicos individuales y tienen asignada su propia frecuencia portadora. La banda de guarda entre señales adyacentes se deja para reducir la interferencia entre ambas, y su ancho siempre es función de señales de vayan a sus lados.

Siempre que haya más de una portadora presente al mismo tiempo en el amplificador de potencia, se produce ruido de intermodulación y cuanto mayor sea el número, mayor es el ruido y su efecto sobre la información original.

SUBSISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA

Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular depende de sus características de operación, y normalmente varía entre los 500 y 200 watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

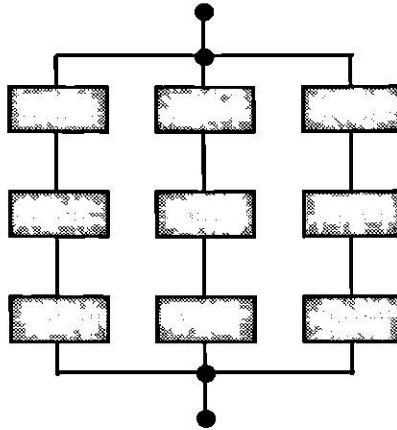
Con excepción de la primera horas inmediatas a su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas solares. Hasta ahora, ningún satélite comercial de comunicaciones utiliza energía nuclear,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

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

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico ; cuanto mayor sea la densidad del flujo de 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 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 que la eficiencia promedio de conversión de electricidad es del 10%, y que un satélite estándar requiere alrededor de

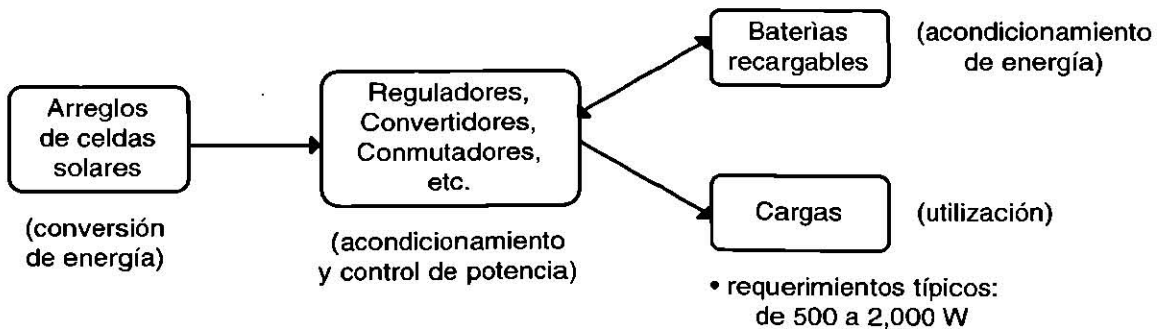
un kilowatt de potencia, es evidente que necesita contar con muchos en metros cuadrados de celdas solares. Cada celda solar tienen un área de unos 5 centímetros cuadrados, y uniendo muchas de ellas en serie y en paralelo (como se muestra en la figura 6.4) se forma un arreglo solar. Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación 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, que cuando llevan una cubierta de protección hecha de silice fundido.

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



	Montaje cilíndrico	Arreglos desplegados
Control de Temperatura	fácil	menos fácil
"Ventanas" libres en la estructura del satélite	difícil	fácil
Area iluminada	aprox. 35%	toda
Potencia obtenible	limitada	ilimitada
Peso por unidad de potencia	≈ 3 veces más	1
Costo por unidad de potencia	≈ 3 veces más	1

Fig. 6.4. Ejemplo de una conexión de celdas solares en serie y paralelo



- Radicación solar aprox: 1,350 W/cm²

- Eficiencia de una celda solar: de 10 a 15%

Fig. 6.5. Configuración básica del sistema de energía eléctrica de un satélite

•Celdas solares

•Silicio { convencional
eficiencia: aprox. 12%

•Arseniuro de Galio (Ga As) { estado del arte
mayor eficiencia (aprox. 16%)
mayor masa/quebradiza

•Baterías

•Níquel-Cadmio (Ni Cd) { convencionales
pesadas

•Níquel-Hidrógeno (NiH₂) { estado del arte
doble eficiencia por kg.

Fig. 6.6. Sistema De Energía Eléctrica

Los satélites estabilizados por giro son cilíndricos y llevan las celdas solares montadas sobre la mayor parte de su superficie, envolviendo casi totalmente su perímetro. En cambio, los satélites con cuerpo fijo y estabilización triaxial 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 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 la electricidad; de hecho el porcentaje aprovechando en cada instante es de aproximadamente un tercio, a consecuencia de la parte oculta al Sol y la pared curva del cuerpo cilíndrico del satélite sobre el cual están montadas las celdas. Por lo que respecta a los satélites de cuerpo fijo con estabilización triaxial, en su interior hay volantes inerciales que actúan como giroscopios y que

mantienen estable al satélite sin necesidad de que éste gire. Sus paneles solares cuentan con un mecanismo para orientarse constantemente y óptimamente hacia los rayos del Sol; ésto permite aprovechar al máximo las celdas y todas al mismo tiempo, ya que la eficiencia de conversión es función del ángulo de incidencia de los rayos del Sol sobre ellas. Por tal razón, los satélites con este tipo de estabilización brindan mayor capacidad de generación de energía eléctrica que la de los estabilizados por rotación, e invariablemente es el caso de los satélites de radiodifusión directa de televisión, que necesitan varios kilowatts de potencia para operar eficaz y económicamente.

Durante toda su vida de operación, como se explicó, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos se 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 que 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 conectan la batería 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.

Cuando ha transcurrido precisamente la mitad de cada uno de los eclipses, la hora local terrestre en la longitud geográfica sobre la que está colocado el satélite es medianoche todavía hay una alta demanda de servicio del satélite, por lo que desde un principio, cuando se le coloca en órbita, conviene situarlo en una longitud geográfica desplazada hacia el oeste con respecto a la zona geográfica de servicio; de esta forma el eclipse ocurre en realidad un poco más tarde, por ejemplo, cuando en esa zona geográfica es ya la una de la mañana, y así la escasez de energía es menos importante y la potencia de las baterías se puede utilizar más eficientemente.

En cuando a los eclipses de Luna se refiere, éstos ocurren cuando ellas se interponen parcial o totalmente entre los rayos del Sol y el satélite. El fenómeno puede suceder entre cero y cuatro veces en un mismo período de 24 horas, y su duración varía desde unos cuantos minutos hasta un poco más de 2 horas, con un promedio de 40 minutos.

Las baterías que más 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 (por ejemplo, Intelsat V y Spacenet) ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen reemplazando desde la fecha hasta el año 2,000. Hay otros tipo de baterías que aún se encuentran en la etapa de investigación, por ejemplo, de plata-hidrógeno, litio y sodio.

SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO

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

La energía proveniente de la Tierra la integran dos tipos de radiación, la propia de ella y la del Sol reflejada por su superficie (albedo). La suma del calor generado internamente por el satélite más 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 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 obscuridad y cuando está de nuevo expuesto a los rayos del Sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

La transferencia de calor sobrante del satélite al vacío se efectúa por radiación; en su interior también se produce una ligera transferencia de calor entre sus partes, pero por conducción en la estructura. Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en el diseño de satélites tienen a su alcance gran variedad de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato. Por ejemplo, una sección del satélite va cubierta con un reflector de cuarzo, semejante a un gran espejo, que rechaza el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior del vacío, los dispositivos electrónicos que generan más calor - como los amplificadores de potencia se colocan junto a él. Por otra parte, los módulos del interior, así como el subsistema 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; así, por ejemplo, las antenas parabólicas van cubiertas con kapton, las antenas de corneta con mylar y kevlar.

Los colores también juegan un papel muy importante en el acabado de las partes del satélite, dependiendo del lugar que cada una de ellas ocupe en la estructura, al igual que las propiedades de absorción y emisión de los materiales. Así por ejemplo, la pintura blanca absorbe la radiación infrarroja de la Tierra, pero rechaza el flujo solar; su emitancia es muy alta y su absorbencia muy baja, de manera que se comporta como un elemento frío frente al Sol. Por otra parte, la pintura negra también tiene una emitancia alta, pero al mismo tiempo posee una absorbencia muy alta, y cuando esta alta, pero al mismo tiempo posee una absorbencia muy alta, y cuando esta expuesta al Sol su temperatura es superior a los 0°C , a diferencia de la pintura blanca cuya temperatura puede ser inferior a los -50°C .

Función: Mantener el equilibrio térmico entre el calor generado internamente y la energía absorbida del Sol y la Tierra

- Sol en línea de vista
- Eclipses

Métodos:

- Radiación
- Conducción Interna, en menor grado

Dispositivos

y materiales:

- Espejos de cuarzo
- Plásticos aislantes (kapton, Mylar y Kevlar)
- Pinturas de diversos colores (según su emitancia y absorbencia)
- Calefactores para casos de eclipse
- Caloductos (evaporación y condensación de fluidos/calor de los amplificadores de potencia)

Fig. 6.7. Sistema De Control Térmico

Entre otros acabados, también se utiliza en algunas secciones la pintura de aluminio por tener una emitancia más baja que la pintura negra, así como una absorbencia también baja, las zonas recubiertas con pintura de aluminio son mas calientes en la obscuridad - o sea, donde no inciden los rayos del Sol - de lo que serían si tuviesen un terminado con pintura negra. Es así como, mediante la combinación de materiales y colores, y con el auxilio de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva dentro de un nivel aceptable de temperaturas durante la mayor parte del tiempo.

Sin embargo, el equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse, pues en ese momento desaparece la contribución del calor proveniente del Sol, así como el albedo cuya influencia es mucho menor, modificándose la temperatura resultante total. Si no se tomase alguna medida de protección para estas condiciones especiales, el satélite sufriría un cambio térmico muy fuerte, enfriándose a tal grado que

las componentes más sensibles a las bajas temperaturas dejarían de funcionar correctamente, uno de los elementos más sensibles al frío son, por cierto, las baterías, que irónicamente son las responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante el eclipse, y por lo tanto es 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 - 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 para nuevamente a la condición de evaporación, y así en forma sucesiva.

SISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir radioeléctricas desde alguna parte de la Tierra y retransmitirlas hacia otra a través de su subsistema de antenas direccionales, que por supuesto deben estar permanentemente orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Para que tal situación se logre, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de la Tierra, lo que se obtiene mediante las técnicas de *estabilización por giro* o de *estaciabilización 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. En los primeros satélites que utilizaron antenas de haces direccionales, estas se hacen girar en sentido contrario al giro del cuerpo cilíndrico del satélite, de tal forma que en realidad no se movían con relación a la superficie terrestre. Sin embargo, esta solución perdió practicabilidad al ir evolucionando las generaciones de satélites, y hoy solo una parte de su cuerpo gira mientras que el resto de la estructura - 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. El satélite, al girar sobre su eje - que es paralelo al de rotación de la Tierra se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadoras descritas.

Los satélites con estabilización triaxial no giran, y aparentemente permanecen estáticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntando hacia la Tierra. En estos casos, la estabilización de la estructura del satélite se conserva mediante volantes giratorios que van colocados en su interior, sobre cada un de los tres ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite hacia la superficie terrestre.

Independientemente del tipo de estabilización que se use, las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie de la Tierra. Por lo tanto, es preciso poder determinar, de alguna manera y en todo momento, donde está el satélite y cual es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en que dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra (el centro de control). La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que este 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 los 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 ciertas 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 solo requiere una estación es otra alternativa para medir el ángulo, y tiene la ventaja de que solo requiere una estación terrena y no dos ; opera bajo el principio de orientar la antena hacia el satélite e irla moviendo poco a poco hasta que se detecte el nivel máximo de radiación. Cuando se obtienen 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 éste se encuentra.

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

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

El procedimiento de corrección de la posición del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos, calcular a continuación las correcciones que deben hacerse para reducir 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 subsistema de rastreo, telemetría y comando que se describe. Entre otros tipos de actuadores, se cuenta con los volantes o giroscopios, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par correctivo; asimismo, hay bobinas que generan un momento magnético mediante una corriente eléctrica cuando ésta interactúa con el campo magnético de la Tierra. Produciéndose así el par deseado de corrección ; en ambos casos, sin embargo, la magnitud que se puede obtener en los pares generados de corrección es poca, y por consiguiente estos dispositivos son poco en la magnitud de los pares necesarios de corrección, son los propulsores que se describen a continuación.

SUBSISTEMAS DE PROPULSION

El subsistema de propulsión o de control a reacción opera según el principio de la tercera ley de Newton, mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de toberas o conductos de escape, se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros son los de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje cientos 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 consuma cada segundo, en consecuencia, tiene dimensiones de tiempo y se expresa en segundos. Es de esperarse que si se desea reducir el 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 mediante la reacción química de propelentes, y los gases se aceleran al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo poco a poco en su 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 - del orden de 70 segundos - y muy pronto fueron sustituidos por la *hidrazina monopropelente* que en la actualidad goza de mucha popularidad. En este último tipo de propulsión 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 255 segundos. El impulso específico se puede mejorar incrementando la temperatura de los gases mediante algún sistema de calentamiento resistivo, después de la descomposición catalítica, hasta unos $1,900^\circ C$, y antes de que escapen por la tobera ; de esta forma, el impulso específico aumenta hasta unos 300 segundos. Este importante incremento permite reducir la masa 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 los que no se emplea un catalizador, sino que dos propelentes distintos - un combustible y un oxidante - se pone en contacto. Al unirse las dos sustancias, se produce una combustión instantánea sin necesidad de algún sistema de ignición, de estas sustancias, las más populares son la hidrazina monometilica (combustible) y el peróxido de nitrógeno (oxidante), que al combinarse producen un impulso bipropelentes es que permiten diseñar un sistema unificado o de propulsión que a la vez sirva para colocar al satélite en su órbita definitiva tanto sus años de vida, utilizando para ellos los mismos en la masa total del satélite, al no ser ya necesario un subsistema de control a reacción independiente en combinación con un motor de apogeo de combustible sólido. Algunos satélites como el INSAT-a de la India utilizan la configuración bipropelente, pero su diseño es más complejo que el de los sistemas que emplean un motor de apogeo y un subsistema de propulsión separados.

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

SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios 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 1,000 bits por segundo, y esta información permite conocer el estado de operación del sistema satelital, apoyada por la información de rastreo.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto, denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. Normalmente se utilizan de 6 a 7 tonos distintos, cuya frecuencia es de 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 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 ejecutadas. Durante los varios años de vida operacionales del satélite, este amplificador es el mismo de alguno de los transportadores empleados para las comunicaciones en general, ya que las señales transmitidas y recibidas por el subsistema de telemetría, rastreo y comando ocupan muy poco ancho de banda y

pueden compartir el mismo amplificador de banda C o Ku con otro tipo de señales de comunicaciones. Solamente durante las maniobras de colocación en órbita es común utilizar un amplificador que funcione a frecuencias más bajas que las de las 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 , y las transmisiones y receptores se efectúan a través de la antena de rastreo, comando y telemetría.

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

SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

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

Durante 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 - cada vez que se desprende alguna etapa del cohete que lo transporta, o de él mismo. Cuando llega a su posición orbital final, y tal como ya se ha indicado, el satélite se ve afectado por impactos de micrometeoritos, presiones de radiación de las antenas, fuerzas de atracción de la

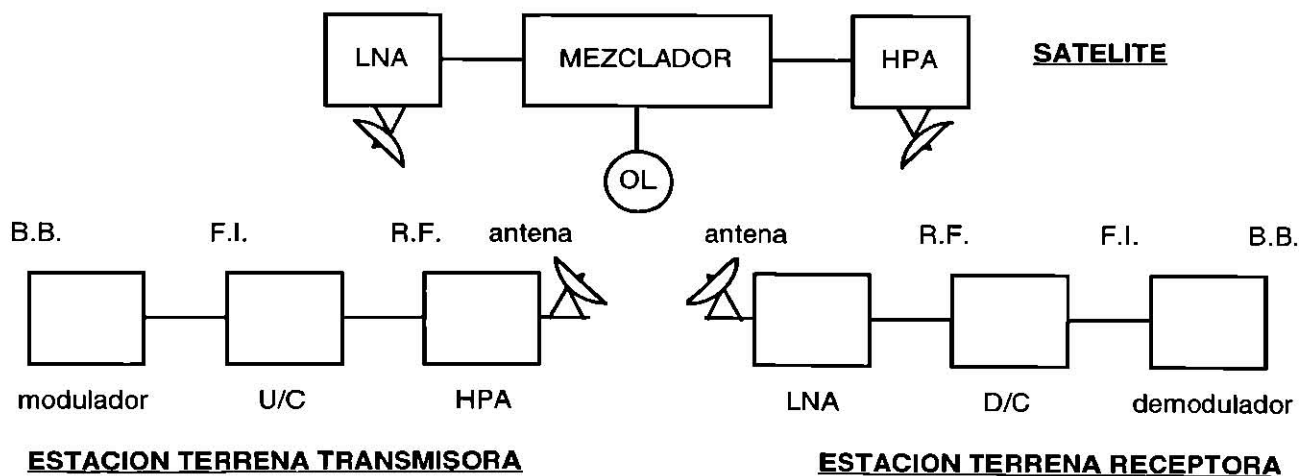
Tierra, la Luna y el Sol, y los empujes generados por su propio subsistema de propulsión. En consecuencia, tanto la estructura del satélite como cada una de las demás partes que lo componen deben diseñarse para que soporten esas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida.

Para ello, el diseñador tiene a su alcance una diversidad de materiales para fabricar la estructura, así como muchos conceptos geométricos derivados de la experiencia obtenida en aeronáutica a través de los años. 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.) la masa de la estructura (los cilindros o las paredes de la caja, según el caso) se fabrica con “panal de abeja” (honeycomb) de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

VIII. EL ENLACE TIERRA-SATELITE-TIERRA

CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA

Para establecer un sistema de comunicaciones vía satélite, se requiere contar con una estación terrena transmisora, un satélite de radiocomunicaciones y una estación terrena receptora, integrados según la recomendación de CCIR (rec-352-1), del “circuito hipotético de referencia” como a continuación se describe:



ESTACION TERRENA TRANSMISORA

- **Acometida de la señal a transmitir.**
(Entrada de banda base)
- **Modulador**
- **Convertidor de Subida (U/C, up converter)**
- **Amplificador de potencia (HPA, high power amp.)**
- **Antena, lado de transmisión**

La señal de información (telefonía, televisión, información digital, etc.), es recibida por el equipo transmisor de satélite en tierra una vez que, previamente es agrupada adecuadamente mediante la multiplexión en la forma de señal de Banda Base (BB), para ser alimentada al modulador. Este modulador opera a una frecuencia estándar de 70 MHz llamada frecuencia intermedia (F.I.) la cual es modulada en frecuencia por la banda base. La señal de FI (modulada), es posteriormente elevada al rango de microondas (Ejemplo: 6 GHz en banda C), en el convertidor de subida para luego ser amplificada en el HPA con la finalidad de conseguir el suficiente nivel para que la señal llegue al satélite con la potencia suficiente.

La señal de microondas es alimentada a la antena la que concentra la energía dirigiéndola hacia el satélite.

SATELITE DE RADIOCOMUNICACIONES

- **Antena lado recepción**
- **Amplificadores de Bajo Nivel de Ruido (LNA)**
- **Convertidor de frecuencia (Traslador de Banda)**
- **Amplificador de Potencia (HPA)**
- **Antena lado de transmisión.**

Al llegar la señal al satélite, es captada por la antena de recepción la cual la alimenta a un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) el cual amplifica la microonda para luego, en el convertidor, bajar su frecuencia al rango de la banda "Down-Link" (Ejemplo al rango de 4 GHz , en banda C). Una vez trasladada la frecuencia, la señal será amplificada en el HPA y enviada de nuevo hacia la tierra por la antena de transmisión. Esta antena, en ocasiones, es la misma que la de recepción.

ESTACION TERRENA RECEPTORA

- **Antena lado de recepción**
- **Amplificador de Bajo Nivel de Ruido**
- **Convertidor de Bajada (D/C down converter)**
- **Demodulador**
- **Entrega de la señal de Banda Base.**

En la estación terrena receptora la señal es recogida por la antena, alimentada al LNA donde se amplifica con un bajo nivel de ruido, alimentada al convertidor de bajada donde la señal es convertida del rango de microondas a frecuencia intermedia (70 MHz), para luego ser recuperada la información en el demodulador. La señal a la salida del demodulador es la información en la forma de Banda Base.

IX. ACCESO MULTIPLE

DEFINICION Y CLASIFICACION

El acceso múltiple se define como la capacidad para que un gran número de estaciones terrenas transmisoras “conectan” sus enlaces de comunicación correspondientes a través de un satélite común.

Los tres tipos más comunes de acceso múltiple son:

- Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) donde todos los usuarios (Transmisores en tierra) tienen acceso al satélite al mismo tiempo pero cada uno transmite en su propia y única banda de frecuencias. Esta es la forma de acceso múltiple más utilizada con la modulación analógica, donde las señales están presentes todo el tiempo.
- Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) donde los usuarios transmiten por “turno” en su propia y única “ranura” de tiempo. Mientras está transmitiendo, cada ocupante tiene el uso exclusivo de uno o más transponders. La naturaleza intermitente del TDMA lo hace particularmente atractivo para modulación digital.
- Acceso múltiple por división de código (CDMA) muchas estaciones terrenas transmiten simultáneamente señales codificadas distribuidas en todo el ancho de banda asignado. Los sistemas decodificadores y reciben las transmisiones combinadas provenientes de diferentes estaciones y recuperan cada uno de ellos.

En cualquiera de las tres clásicas formas de acceso múltiple cabe otra subdivisión:

Si el acceso al satélite es permanente de parte de una estación terrena transmisora el acceso se conoce como fijo o por pre-asignación. Si el acceso es temporal y compartido se le conoce como acceso de asignación por demanda.

X. RELACION DE LOS SATELITES GEOESTACIONARIOS DE COMUNICACIONES

SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN BANDA "C"

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
F-Sat I	7 °	E	Francia
Statsionar - 18	8 °	E	URSS
Nat - Sat 3	14 °	E	Nigeria
AMS - 1	15 °	E	Israel
Nat - Sat 2	16 °	E	Nigeria
Arabsat - 1A	19 °	E	Liga de Países Arabes
Nat - Sat 1	20 °	E	Nigeria
Arasat - 1B	26 °	E	Liga de Países Arabes
Raduga - 17	35 °	E	URSS
Raduga - 19	45 °	E	URSS
More 53	53 °	E	URSS
Intelsat VI	57 °	E	Intelsat
Intelsat VA - F2	60 °	E	Intelsat
Intelsat V - F5	63 °	E	Intelsat
Intelsat VI- 2	63 °	E	Intelsat
Inmarsat - 2 F3	64.5 °	E	Inmarsat
Intelsat V - F3	66 °	E	Intelsat
STW - 2	70 °	E	China
Marisat - F2	72.5 °	E	Inmarsat
Insat - 1B	74 °	E	India
Gorizont - 9	75.7 °	E	URSS
Statsionar - 13	80 °	E	URSS

NOMBRE	POSICION		PROPIETARIO
	(LONGITUD GEOGRAFICA)		
Potok - 2	80 °	E	URSS
Insat - IIA	83 °	E	India
Raduga 20	85 °	E	URSS
Chinasat - 1	87.5 °	E	China
More - 90	90 °	E	URSS
Gorizont - 13	90 °	E	URSS
Insat -IC	93.5 °	E	India
Insat -IIB	93.5 °	E	India
Statsionar - 14	95 °	E	URSS
Chinasat - 3	98 °	E	China
Ekrán 16 y 17	99 °	E	URSS
Palapa B1	108 °	E	Indonesia
Chinasat - 2	110.5 °	E	China
Palapa B2P	113 °	E	Indonesia
Palapa B3	118 °	E	Indonesia
STW - 1	125 °	E	China
Statsionar - 15	128 °	E	URSS
Raduga - 21	128 °	E	URSS
CS - 2A	132 °	E	Japón
CS - 2B	136 °	E	Japón
More - 140	140 °	E	URSS
Gorizont - 14	140 °	E	URSS
Statsionar - 16	145 °	E	URSS
Pacstar - 1	167.5 °	E	Papúa - Nueva Guinea
Intelsat V - F1	174 °	E	Intelsat
Marisat - F3	176.5 °	E	Inmarsat
Intelsat IVA - F3	177 °	E	Intelsat
Marecs A	178 °	E	Inmarsat
Intelsat V - F8	180 °	E	Intelsat
Intelsat V - F2	1 °	W	Intelsat

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
Telecom IC	3 °	W	Francia
Telecom IB	5 °	W	Francia
Telecom IIA	8 °	W	Francia
Telecom IA	8 °	W	Francia
Statsionar - 11	11 °	W	URSS
Potok - 1	13.5 °	W	URSS
Gorizont - 12	14 °	W	URSS
More - 14	14 °	W	URSS
Marisat - F1	15 °	W	Inmarsat
Inmarsat - 2 F1	15 °	W	Inmarsat
Intelsat V - F6	18 °	W	Intelsat
Intelsat IVA - F4	21.5 °	W	Intelsat
Avsat 1	22 °	W	EE. UU / Aeron. Radio
Intelsat VA - F10	24.5 °	W	Intelsat
Raduga - 18	25 °	W	URSS
Inmarsat - 2 F2	26 °	W	Inmarsat
Marecs B2	26 °	W	Inmarsat
Statsionar - 17	26.5 °	W	URSS
Intelsat VA - F11	27.5 °	W	Intelsat
Intelsat V - F4	34.5 °	W	Intelsat
TDRS A	41 °	W	EE. UU / NASA
PAS 1	45 °	W	EE. UU / PamAmSat
Finansat 2	48 °	W	EE. UU / Financial Sat
Intelsat V - F3	53 °	W	Intelsat
PAS	57 °	W	EE. UU / PamAmSat
Avsat 2	58 °	W	EE. UU / Aeron, Radio
Satcom 6	62 °	W	EE. UU / GE Americom
ASC - 3	64 °	W	EE. UU / American Sat
ASC - 4	64 °	W	EE. UU / American Sat
Brasilsat - 1	65 °	W	Brasil

NOMBRE	POSICION		PROPIETARIO
	(LONGITUD GEOGRAFICA)		
Spacenet - II	69 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Brasilsat - 2	70 °	W	Brasil
Satcom 2R	72 °	W	EE. UU / RCA Americom
Galaxy 2	74 °	W	EE. UU / Hughes Com
Satcol 1	75 °	W	Colombia
Comstar D4	76 °	W	EE. UU / Comsat General
TDRS C	79 °	W	EE. UU / NASA
Nahuel A	80 °	W	Argentina
Satcom 4	83 °	W	EE. UU / RCA Americom
STSC 1	83 °	W	Cuba
ASC 2	83 °	W	EE. UU / American Sat
Nahuel B	85 °	W	Argentina
Telstar 302	85 °	W	EE. UU / AT&T
Spacenet - III	87 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Cóndor	89 °	W	Pacto Andino
Westar VI S	91 °	W	EE. UU / Western Union
Galaxy 3	93.5 °	W	EE. UU / Hughes Com
Telstar 301	96 °	W	EE. UU / AT&T
STSC 2	97 °	W	Cuba
Westar IV	99 °	W	EE. UU / Western Union
Anik D1	104.5 °	W	Canadá
Anik D2	111.5 °	W	Canadá
Morelos 1	113.5 °	W	México
AVSAT 3	114 °	W	EE. UU / Aeron, Radio
Morelos 2	116.5 °	W	México
Spacenet I	120 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Galaxy 4	122 °	W	EE. UU / Hughes Com
Westar V	122.5 °	W	EE. UU / Western Union
Telstar 303	125 °	W	EE. UU / AT&T
ASC - 1	128 °	W	EE. UU / American Sat

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
Satcom 3	131 °	W	EE. UU / RCA Americom
Galaxy 1	134 °	W	EE. UU / Hughes Com
Satcom 1R	139 °	W	EE. UU / RCA Americom
Aurora 1	143 °	W	EE. UU / Alascom
Westar VII	144 °	W	EE. UU / Western Union
Potok - 3	168 °	W	URSS
TDRS B	171 °	W	EE. UU / NASA
Paacstar - 2	175 °	W	Papúa Nueva Guinea
Finansat 1	178 °	W	EE. UU / Financial Sat

SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN BANDA "Ku"

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
Eutelsat II - 2	3 °	E	Eutelsat
Telecom 1C	3 °	E	Francia
Tele - X	5 °	E	Naciones Nórdicas
Eutelsat I - 4	7 °	E	Eutelsat
Telecom 1B	8.5 °	E	Francia
Eutelsat I - 4	10 °	E	Eutelsat
Eutelsat I - 1	13 °	E	Eutelsat
Zenon - B	15 °	E	Francia
AMS - 1	15 °	E	Israel
Sicral 1A	16 °	E	Italia
Eutelsat I - 5	16 °	E	Eutelsat
SABS	17 °	E	Arabia Saudita
Zenon - C	19 °	E	Francia
SES - Astra 1	19 °	E	Luxemburgo
Eutelsat II - 3	19 °	E	Eutelsat
DFS - 1	23.5 °	E	Alemania Occidental
DFS - 2	28.5 °	E	Alemania Occidental
Videosat	32 °	E	Francia
Eutelsat II - 1	36 °	E	Eutelsat
Paksat 1	38 °	E	Pakistán
Paksat 2	41 °	E	Pakistán
Loutch 2	53 °	E	URSS
Intelsat VI	57 °	E	Intelsat
Intelsat VI - 1	60 °	E	Intelsat
Intelsat VA - F12	60 °	E	Intelsat
Intelsat V - F5	63 °	E	Intelsat
Intelsat VI - 2	63 °	E	Intelsat
CBSS - 2	65 °	E	China

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
Intelsat V - F7	66 °	E	Intelsat
Celestar - 2	70 °	E	EE. UU / McCaw
Gorizont - 9	75.7 °	E	URSS
CBSS - 2	80 °	E	China
Loutch 3	90 °	E	URSS
Gorizont - 13	90 °	E	URSS
CBSS - 3	92 °	E	China
BS - 3	110 °	E	Japón
SCC 1	124 °	E	Japón
SCC 2	128°	E	Japón
Gorizont - 14	140 °	E	URSS
JCS - 1	150 °	E	Japón
JCS - 2	154 °	E	Japón
Aussat - 1	156 °	E	Australia
Aussat - 2	160 °	E	Australia
Aussat - 3	164 °	E	Australia
Pacstar - 1	167.5 °	E	Papúa - Nueva Guinea
Celestar - 1	170 °	E	EE. UU / McCaw
Intelsat V - F1	174 °	E	Intelsat
Intelsat V - F8	180 °	E	Intelsat
Intelsat V - F2	1 °	W	Intelsat
Telecom 1C	3 °	W	Francia
Telecom 1B	5 °	W	Francia
Zenon - A	8 °	W	Francia
Telecom 1A	8 °	W	Francia
Telecom 2A	8 °	W	Francia
F - Sat - 2	11 °	W	Francia
Loutch 1	14 °	W	URSS
Gorizont - 12	14 °	W	URSS
Intelsat V - F6	18 °	W	Intelsat

NOMBRE	POSICION		PROPIETARIO
	(LONGITUD GEOGRAFICA)		
TV - Sat 1	19 °	W	Alemania Occidental
Helvesat	19 °	W	Suiza
TDF - 1	19 °	W	Francia
Olympus 1	19 °	W	agencia Europea Espacial
Sarit	19 °	W	Italia
Intelsat VA - F10	24.5 °	W	Intelsat
Intelsat VA - F11	27.5 °	W	Intelsat
Eiresat - 1 (Atlantic Satellite)	31 °	W	Irlanda
BSB	31 °	W	Reino Unido
Hispasat	31 °	W	España
Intelsat V - F4	34.5 °	W	Intelsat
Orion - 1	37.5 °	W	EE. UU / Orion Sat Corp
PAS 1	45 °	W	EE. UU / PanAmSat
Brasil - Sat C	45 °	W	Brasil
Intelsat V - F3	53 °	W	Intelsat
ISI - 1	56 °	W	EE. UU / Int. Sat. Inc.
SBS - 6	62 °	W	EE. UU / IBM
Brasil - Sat B	64 °	W	Brasil
ASC - 3	64 °	W	EE. UU / American Sat
Spacenet II	69 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Canadá BSS1	70.5 °	W	Canadá
Galaxy K1	71 °	W	EE. UU / Hughes Comm Inc.
Uruguay - Sat	71.5 °	W	Uruguay
Westar A	73 °	W	EE. UU / Western Union
Sat Mobile 2	75 °	W	EE. UU / Sat Mobile Co.
Expresstar B	77 °	W	EE. UU / Federal Express
Nahuel A	80 °	W	Argentina
Satcom K2	81 °	W	EE. UU / GE Americom
Brasil - Sat 2	81 °	W	Brasil
ASC - 2	83 °	W	EE. UU / Am. Sat. Corp.

NOMBRE	POSICION		PROPIETARIO
	(LONGITUD GEOGRAFICA)		
Satcom K1	85 °	W	EE. UU / GE Americom
Nahuel B	85 °	W	Argentina
Perú - Sat	86 °	W	Perú
Spacenet III	87 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Cuba - Sat	89 °	W	Cuba
SBS - 4	91 °	W	EE. UU / IBM
Canadá - BSS2	91 °	W	Canadá
Caribe - Sat	92.5 °	W	Países del Caribe
Euador - Sat	95 °	W	Ecuador
SBS - 3	95 °	W	EE. UU / MCI
Bermudas - Sat	96 °	W	Bermudas
SBS - 2	97 °	W	EE. UU / Comsat General
SBS - 1	99 °	W	EE. UU / Comsat General
Gstar IV	99 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Paraguay - Sat	99 °	W	Paraguay
Galaxy BSS1	101 °	W	EE. UU / Hughes Comm
Gstar I	103 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Colombia - Sat	103 °	W	Colombia
Venezuela - Sat	104 °	W	Venezuela
Gstar II	105 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Chile - Sat	106 °	W	Chile
M - Sat	106.5 °	W	Canadá
Anik E1	107.5 °	W	Canadá
Anik C1	107.5 °	W	Canadá
Anik C2	110 °	W	Canadá
Anik E2	110.5 °	W	Canadá
Morelos 1	113.5 °	W	México
Andes - Sat	115 °	W	Venezuela/Colombia/Bolivia/ Ecuador
Morelos 2	116.5 °	W	México

NOMBRE	POSICION (LONGITUD GEOGRAFICA)		PROPIETARIO
Anik C3	117.5 °	W	Canadá
Sat - Mobile 1	120 °	W	EE. UU / Sat Mobile Co.
Spacenet I	120 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
SBS - 5	122 °	W	EE. UU / IBM
Expresstar A	124 °	W	EE. UU / Federal Express
Gstar III	124 °	W	EE. UU / GTE - Spacenet
Mex - Sat	127 °	W	México
ASC 1	128 °	W	EE. UU / American Sat C.
Galaxy K2	130 °	W	EE. UU / Hughes Comm Ir.
Westar B	132 °	W	EE. UU / Westen Union
Hughes MSS 1	135 °	W	EE. UU / Hughes Comm
Mex - Sat	136 °	W	México
Canadá - BSS3	138 °	W	Canadá
USA - BSS 1	148 °	W	EE. UU / Westen
USA - BSS 2	166 °	W	EE. UU / Westen
Pacstar - 2	175 °	W	Papua - Nueva Guinea

NOTA : En lo que respecta a México debemos agregar los satélites Solidaridad I y II en 109.2 y 113 grados oeste respectivamente operando en banda "C", "Ku".

