

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA.



TESINA PRESENTADA POR EL ALUMNO
OSCAR HUMBERTO GARZA CAVAZOS

PARA LA OBTENCION DE TITULO DE
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

TEMA:
COMUNICACION VIA SATELITE

CD. UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 1997

T

TK510

G37

1997

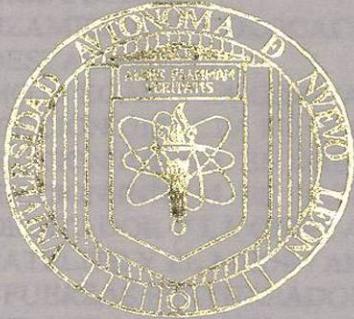
C.1



1080096847

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA.



TESINA PRESENTADA POR EL ALUMNO
OSCAR HUMBERTO GARZA CAVAZOS

PARA LA OBTENCION DE TITULO DE
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

TEMA:

COMUNICACION VIA SATELITE



CD. UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 1997

T
TKS104
G.37
1997



INDICE

TEMA	PAG.
INTRODUCCION	1
LANZAMIENTO Y COLOCACION DE UN SATELITE EN ORBITA GEOESTACIONARIA	2
COMO LLEGAR A LA ORBITA GEOESTACIONARIA	3
INYECCION DIRECTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA	4
INYECCION INICIAL EN ORBITA ELIPTICA	4
INYECCION INICIAL EN ORBITA CIRCULAR BAJA	5
EL ORBITADOR Y LA ORBITA DE HOHMANN	6
EL SATELITE Y EL MEDIO AMBIENTE DEL ESPACIO	8
LAS FUERZAS PERTURBADORAS	10
LA TEMPERATURA DEL SATELITE	11
OTROS FACTORES DE PERTURBACION	12
ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATELITE	12
SUBSISTEMA DE ANTENAS	13
SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES	14
ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA	20
ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO	22
ACCESO MULTIPLE POR DIFERENCIA DE CODIGO	23
FRECUENCIAS ASIGNADAS Y REUTILIZACION DE FRECUENCIAS	23
SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA	25
SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO	26
SUBSISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION	27
SUBSISTEMA DE PROPULSION	29
SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO	30
SUBSISTEMA ESTRUCTURAL	31
SERVICIO FIJO	32
SERVICIO MOVIL	32
TIPOS DE SATELITES	33
ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACION TERRENA	34
LA ANTENA	34
A) CONFIGURACIONES GEOMETRICAS Y FUNCIONAMIENTO	34
B) ORIENTACION EN ELEVACION Y AZIMUT	37
C) TIPOS DE MONTAJE	37
RASTREO DE UN SATELITE	38
EL TRANSMISOR	39
EL RECEPTOR	41
A) GENERALIDADES	41
B) EL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO	42
CONVERSION DE FRECUENCIA, DEMODULACION Y CALIDAD DE RECEPCION	43
ALIMENTACION DE ENERGIA	44

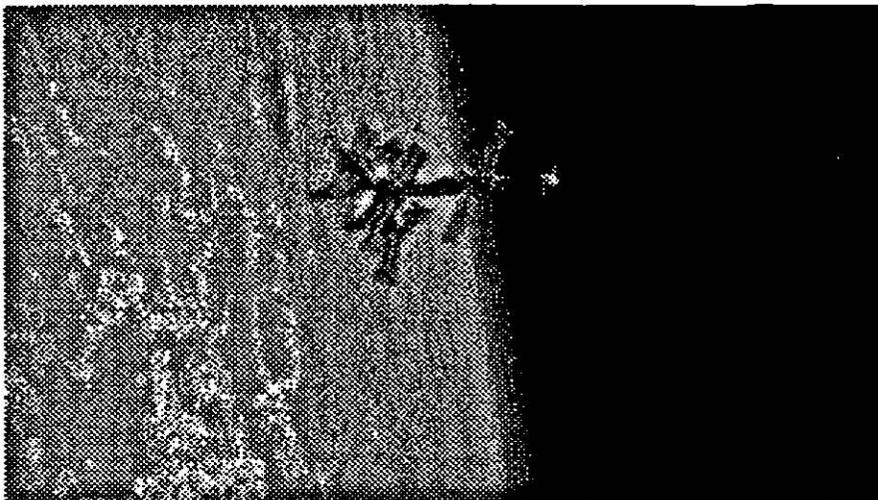
INTRODUCCIÓN

Uno de los resultados mas fascinantes de los programas espaciales es sin duda el satélite artificial y su tecnología. Este aparato electrónico ha venido modificando la vida de muchas personas, podemos decir que a toda la población del planeta, ya sea directa o indirectamente nos ha favorecido. Gracias a este aparato conocemos con mayor precisión los recursos naturales de nuestro planeta, las distancias ya sea entre ciudades y/o países. Con este aparato las distancias entre países se han acortado puesto que se puede enviar o recibir información casi instantáneamente.

Los satélites artificiales funcionan bajo un mismo principio y constan de varias partes comunes como pueden ser: celdas solares para alimentarse de energía, antenas para recibir y transmitir información y medios de propulsión para corregir su órbita.

Los satélites integran una gran familia y gran parte de ella la constituyen los que se abocan a las comunicaciones, dentro de estos existen varios tipos pero los geoestacionarios son los mas utilizados en la actualidad.

Con los satélites geoestacionarios es posible comunicar lugares muy alejados o inaccesibles y se puede transmitir y recibir grandes y muy variados volúmenes de información. Por ejemplo, se pueden ver programas de televisión que se están transmitiendo a muchos kilómetros de distancia en alguna otra ciudad u otro país; también se puede hablar por teléfono a cualquier parte del planeta estando a bordo de una embarcación en alta mar y también enviar todas las páginas de un periódico (incluyendo fotografías) a algún lugar remoto para que sea impreso localmente, etc....

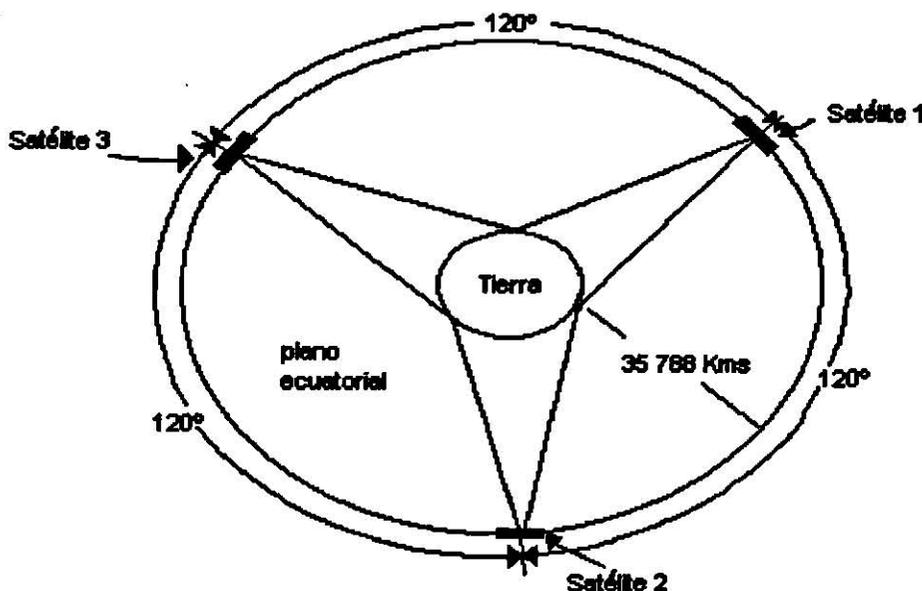


LANZAMIENTO Y COLOCACIÓN DE UN SATÉLITE EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA

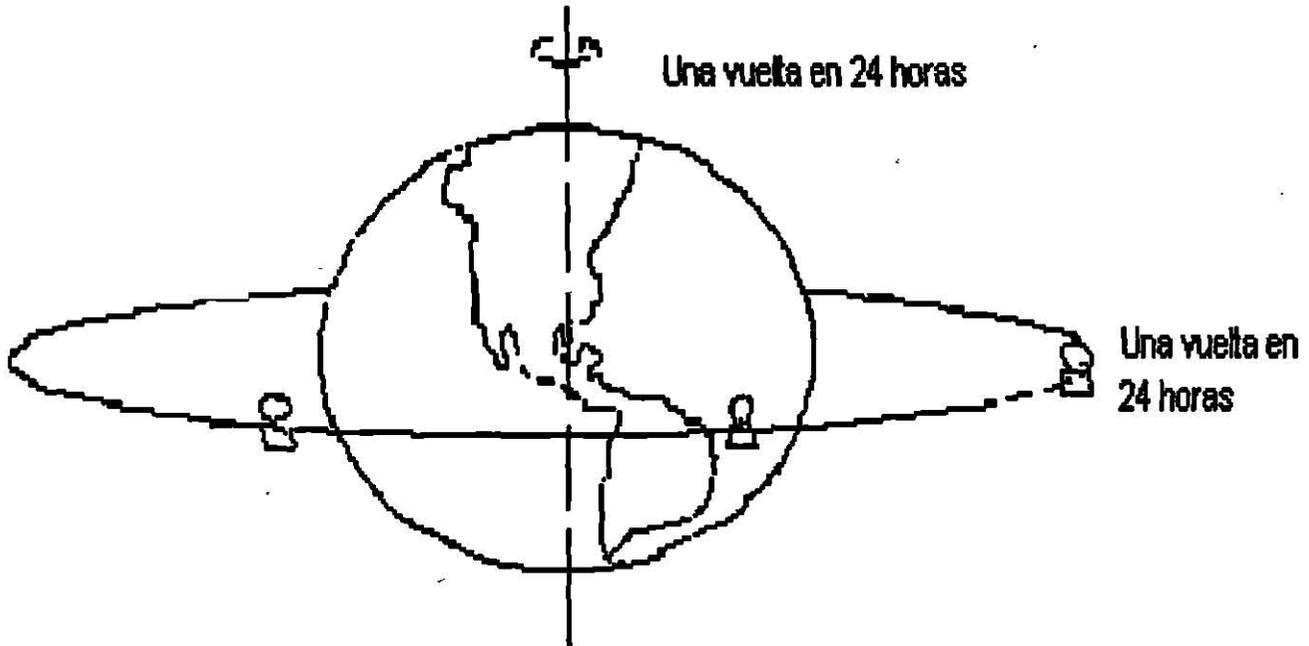
EL CINTURÓN DE CLARKE

En 1945, Arthur C. Clarke sugirió la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto en la Tierra parecería que no se moviesen, como si estuvieran colgados del cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría considerablemente en comparación con el uso de otras órbitas.

Además de estas ventajas, que se obtienen con el uso de esta órbita, casi la totalidad del planeta puede ser intercomunicado por medio de radio con solo tres satélites colocados en esta órbita tan especial llamada "cinturón de CLARKE" u "órbita geoestacionaria". (ver figura).



La idea de CLARKE era muy buena en cuestión de esta órbita solo que debían cumplirse ciertos requisitos para que el satélite fuera en realidad fijo con respecto a la Tierra, es decir, geoestacionario. En primer lugar, el satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completarse una vuelta en 24 horas, debía estar aproximadamente a 36,000 Km. de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo el satélite debía tener una velocidad constante de 3,075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra.



Cabe mencionar que en aquel entonces no se había enviado ningún satélite artificial en ninguna órbita, menos pensar en la órbita geoestacionaria, fue hasta 1957 cuando se inicio la era espacial poniendo en órbita el satélite llamado "SPUTNIK 1" y después de varias pruebas con algunos otros satélites en los primeros años, al fin se colocó el primer satélite geoestacionario del mundo, el cual fue llamado "SYNCOM". Poco mas tarde, en el año de 1968, había un satélite INTELSAT III sobre cada uno de los océanos principales, intercomunicando al mundo.

COMO LLEGAR A LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA.

Gracias a las leyes de Issac Newton se sabe que, la fuerza de atracción entre un cuerpo y la Tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que existe entre estos y directamente proporcional al producto de sus masas.

Todos los sistemas satelitales hacen uso de estos principios y de muchos otros, como por ejemplo las leyes de Kepler, que explican el movimiento de los planetas alrededor del sol, puesto que los satélites se pueden considerar como planetas y la Tierra como un sol, aunque a muy pequeña escala.

Aunque el número de órbitas posible para colocar un satélite alrededor de la

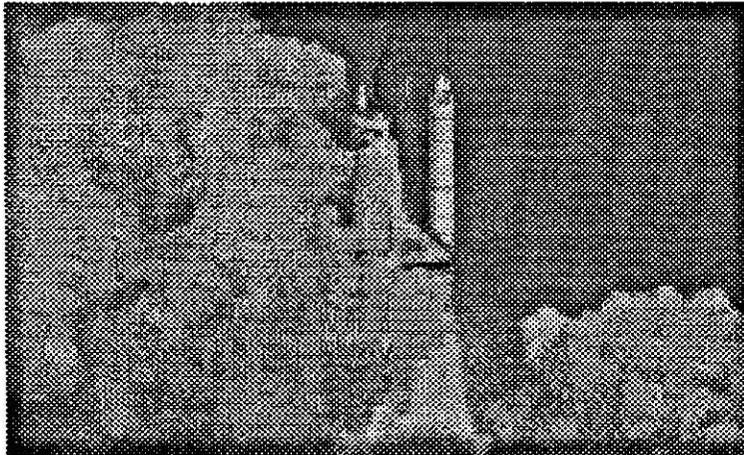
Tierra es infinito la mas codiciada sigue siendo la órbita geoestacionaria. Existen 3 procedimientos para colocar un satélite en la órbita geoestacionaria los cuales son:

- 1.- Inyección directa en órbita geoestacionaria.
- 2.- Inyección inicial en órbita elíptica.
- 3.- Inyección inicial en órbita circular baja.

INYECCIÓN DIRECTA EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA.

En este caso, el satélite es transportado por un cohete en varias etapas hasta el cinturón de CLARKE (órbita geoestacionaria), sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que si es necesario en los dos casos siguientes.

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 el, para pasar de una órbita a otra, la posibilidad de que llegue a su destino final aumenta considerablemente.



INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA ELÍPTICA.

En este caso las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica muy extensa, es decir, muy alargada, en la que el centro de la Tierra es uno de los dos focos de dicha elipse. Una vez que está en esta órbita, el satélite se separa del cohete y da una o varias vueltas en dicha órbita, esta órbita es llamada de transferencia geosíncrona, hasta que llega a la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura aproximada de 200 km. sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35,788 km., que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar.

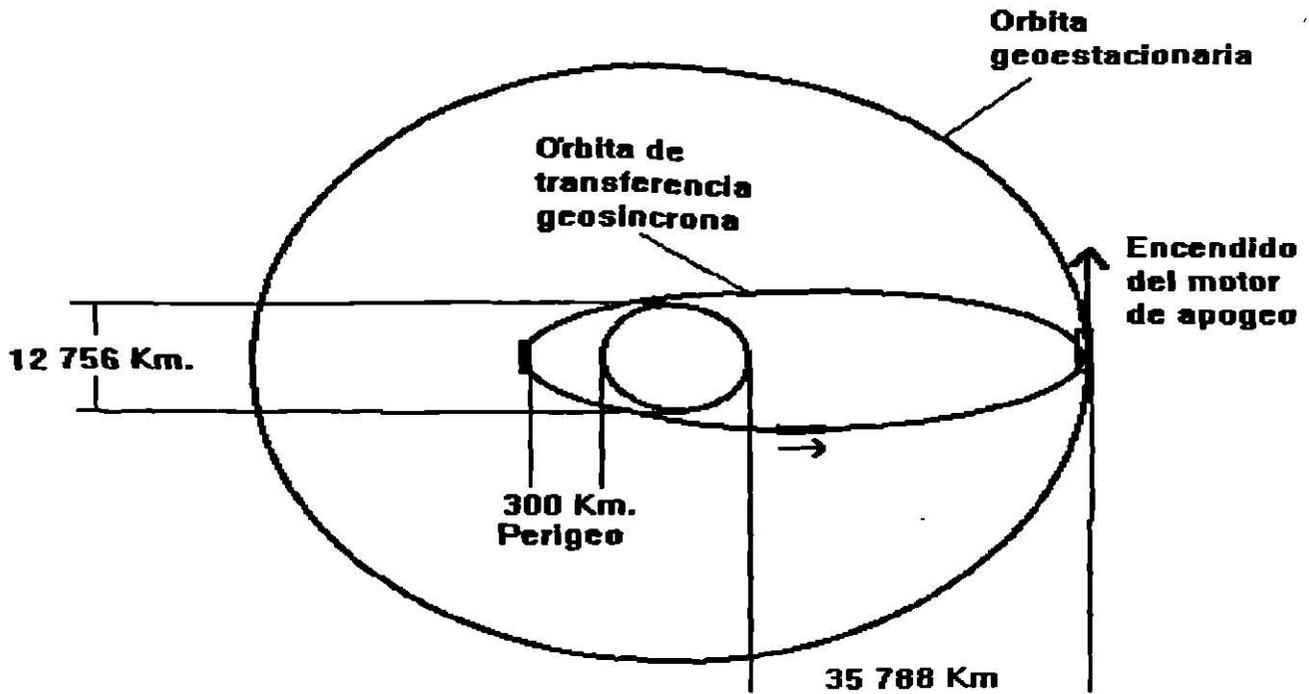
El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado, obviamente, el encendido se efectúa después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección correcta. Al encenderse este, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona al circular geoestacionaria.

INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA CIRCULAR BAJA

Esta técnica es conocida como orbitador y consiste en tres pasos, en el primer paso 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 muchas de las 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 de la nave, aunque ligeramente modificada por el efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de carga.

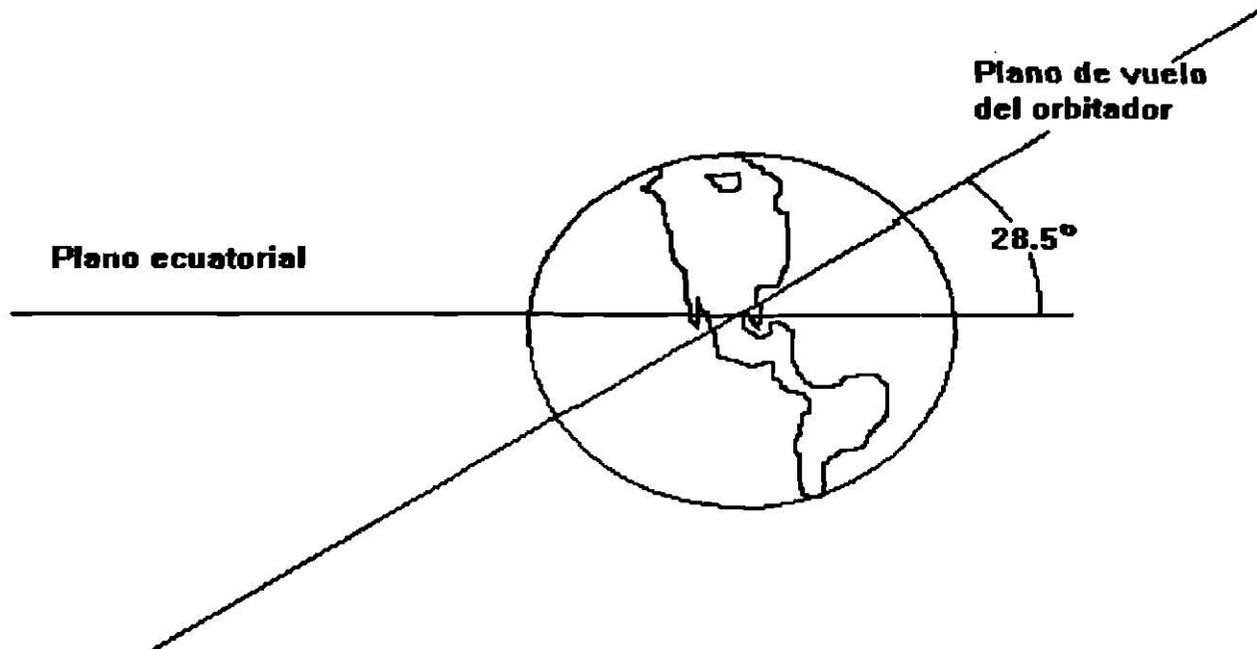
La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del Ecuador, y cuarenta y cinco minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del Ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular a baja o de estacionamiento a una elíptica. Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, más adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final. (ver figura siguiente).



EL ORBITADOR Y LA ÓRBITA DE HOHMANN

Una de las varias aplicaciones de los orbitadores norteamericanos es colocar satélites en órbita circular baja, el compartimiento de carga o bodega de un orbitador tiene 18.3 mts. de largo y 4.6 mts. de diámetro, y en el se pueden colocar uno o varios satélites, dependiendo de las dimensiones y peso de cada uno de ellos.

El orbitador despega desde Cabo Kennedy, situado a 28.5° de latitud norte, y a pocos minutos después entra en órbita circular alrededor de la Tierra, a una altura promedio de 300 km. sobre el nivel del mar; el plano de la órbita de vuelo forma un ángulo de 28.5° con respecto al Ecuador. (ver figura).



Antes de soltar al satélite del compartimiento de carga, se debe utilizar una computadora y una pantalla fosforescente para verificar todos los elementos del satélite, es decir, que se encuentra en buenas condiciones, ésta es una de las grandes ventajas que presenta el orbitador, puesto que el satélite durante el ascenso pudo haber sufrido algún daño en algunas de sus partes y con esta ventaja es posible tratar de repararlo, o traerlo de regreso a la Tierra.

Después de verificado el satélite, se procede a activar los mecanismos de liberación. Se activa la mesa de giro sobre la que va colocado el satélite, hasta que alcanza una velocidad de giro aproximadamente de 50 revoluciones por minuto, en el momento en el que el orbitador intercepta o cruza el Ecuador se desactiva un sistema de resortes a presión, que al tratar de retomar su condición original, los resortes empujan al satélite hacia a afuera. El satélite se separa del orbitador girando, lo cual le da estabilidad giroscópica, y se aleja poco a poco del orbitador.

El procedimiento que se utiliza para llevar el satélite a su posición final se basa en los trabajos que desarrollo el científico alemán Hohmann en los años 20; el objetivo del procedimiento es realizar cambios de órbita y planos de desplazamiento con el menor consumo de energía posible. En la siguiente etapa se debe pasar al satélite de la órbita circular baja a una órbita elíptica muy alargada, cuyo perigeo esta a la altura de la órbita circular baja y su apogeo está a la misma altura que la de la órbita circular final, en este caso la órbita geoestacionaria.

Cuarenta y cinco minutos después que el satélite fue liberado, cuando el orbitador atravesaba el Ecuador el satélite vuelve a cruzar el Ecuador. En ese preciso momento, el módulo de asistencia se enciende de forma automática controlado por un reloj de ignición e impulsa rápidamente al satélite, colocándolo en la órbita elíptica deseada.

Es evidente que para que el satélite pueda desplazarse de una órbita a otra necesita contar un sistema propio de propulsión. El más común se conoce como PAM (módulo de asistencia de carga). Se trata básicamente de un motor de perigeo desechable, que va acoplado a la parte inferior del satélite.

Los motores del tipo PAM utilizan combustible sólido y deben de ser capaces de empujar al satélite con la fuerza y duración necesarias para alcanzar su altura final. Alrededor de los 80 segundos después de encendido el combustible del motor se termina, y para eliminar esta carga muerta, un sistema de explosivos separa al PAM del cuerpo del satélite. Después de esto, se rastrea al satélite durante varias vueltas elípticas para orientarlo adecuadamente y determinar sus condiciones físicas.

El último paso consiste en encender otro motor más pequeño que forma parte del satélite llamado motor de apogeo, el cual le da un nuevo impulso para cambiar su velocidad y su dirección y con esto colocarlo en órbita geoestacionaria.

La rotación de la Tierra y la posición longitudinal final del satélite en el marco geoestacionario determinan cuantas vueltas elípticas debe dar el satélite antes de elegir el apogeo apropiado para corregir velocidad de dirección.

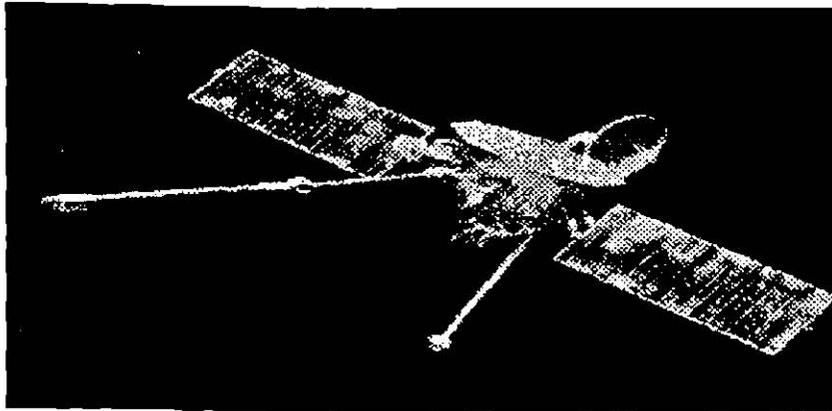
EL SATÉLITE Y EL MEDIO AMBIENTE DEL ESPACIO

Llegado ya el satélite a su posición final en la órbita geoestacionaria, se sabe de antemano que no es el primero y ni el único satélite de la órbita, existen muchos otros satélites en la misma órbita algunos jóvenes y otros viejos, de configuraciones, tamaños, y aplicaciones distintas; muchos de ellos quizá reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado. Afortunadamente, aunque todos están en la misma órbita no están colocados en el mismo punto; de hecho, están separados entre sí, dos o tres grados de arco, equivalentes a 1500 y 2200 km. respectivamente, lo cual garantiza que no exista ningún riesgo de interferencia entre ellos. La posición de longitud de cada satélite depende de la zona geográfica de la cual se encargue de intercomunicar.

De cualquier forma hay secciones del cinturón de CLARKE, que son más codiciadas que otras por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional es la del océano Atlántico, puesto que ahí se encuentran los países industrializados de América del norte y Europa.

Regresando al satélite recién llegado, este no debe causar problemas de interferencia en la calidad de las señales recibidas o transmitidas por él y por lo tanto debe permanecer lo mas fijo posible, es decir, que aunque se esté moviendo a gran velocidad alrededor de la Tierra, para mantener su posición geostacionaria no debe desviarse de su trayectoria y tampoco debe cambiar la orientación de su cuerpo con respecto a la superficie de la Tierra.

Sin embargo, el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos antes mencionados, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirando de él de un lado a otro, por lo tanto necesita ayuda para resolver todos estos contratiempos, y tener a si mismo, flexibilidad de movimiento limitado. A través del subsistema de propulsión del satélite, es posible ayudarlo a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.



Existe una gran caja imaginaria en el espacio en cuyo centro estaría colocado el satélite, esta gran caja imaginaria mide cerca de 75 Km. de ancho, 75 Km. de altura y 85 Km. de fondo, dentro de la cual el satélite se podrá estar moviendo sin provocar ningún problema, pero es importante mantenerlo dentro de esta gran caja imaginaria; para poder mantenerlo en esa posición se necesita rastrear al satélite para observar su posición y encender el subsistema de propulsión a control remoto antes de que se salga. Claro es que, para realizar todas y cada una de estas maniobras, se requiere de un centro de control espacial computarizado en Tierra y que el satélite envíe cierto tipo de información, la cual sirve a los operadores y a las computadoras hacer cálculos y tomar las decisiones correctas al estabilizarlo.

Es necesario mencionar que cada vez que se corrige la orientación del satélite por medio de subsistema de propulsión, se consume combustible, y poco a poco los tanques de almacenamiento se van agotando. AL llegar el momento en que los tanques de combustible se agotan, ya no es posible orientarlo correctamente,

lo cual puede causar interferencia a los demás satélites, así que se toma la decisión de apagar el satélite y con esto darle su jubilación. La **vida útil** de un satélite, depende de la cantidad de combustible que traiga consigo, y en gran medida a la eficiencia con la que los operadores en Tierra administren dicho combustible.

LAS FUERZAS PERTURBADORAS

Existen varias fuerzas que causan problemas para conservar al satélite fijo en su posición, la fuerza que mas afecta al satélite es el campo gravitacional de la Tierra, ya que este campo no es uniforme, puesto que la masa del planeta no es homogénea.

La no uniformidad de la Tierra en conjunto con la no uniformidad del satélite, puesto que el satélite tampoco tiene una masa homogénea, produce un par gravitacional. Este par hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que la velocidad varíe conforme se desplaza en su órbita, y provoca a su vez que el satélite se mueva de un lado a otro, dentro de la gran caja imaginaria.

Aparte del campo gravitacional de la Tierra, debido al gran tamaño que tiene el planeta y la relativa cercanía del satélite al mismo, existe una ligera fuerza gravitacional que produce la luna, sin embargo, la luna es mucho mas pequeña que la Tierra y además se encuentra mas de diez veces mas lejos del satélite, su efecto comparativo es mínimo con respecto a la Tierra 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 ya sea hacia arriba o hacia abajo dentro de la caja imaginaria; un 30% de este movimiento se debe al efecto del sol y un 70% al efecto de la luna.

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar, esta fuerza acelera al satélite. El campo magnético de la Tierra también produce un par o fuerza perturbadora sobre el satélite, pero, en realidad es despreciable en comparación con las fuerzas antes mencionadas.

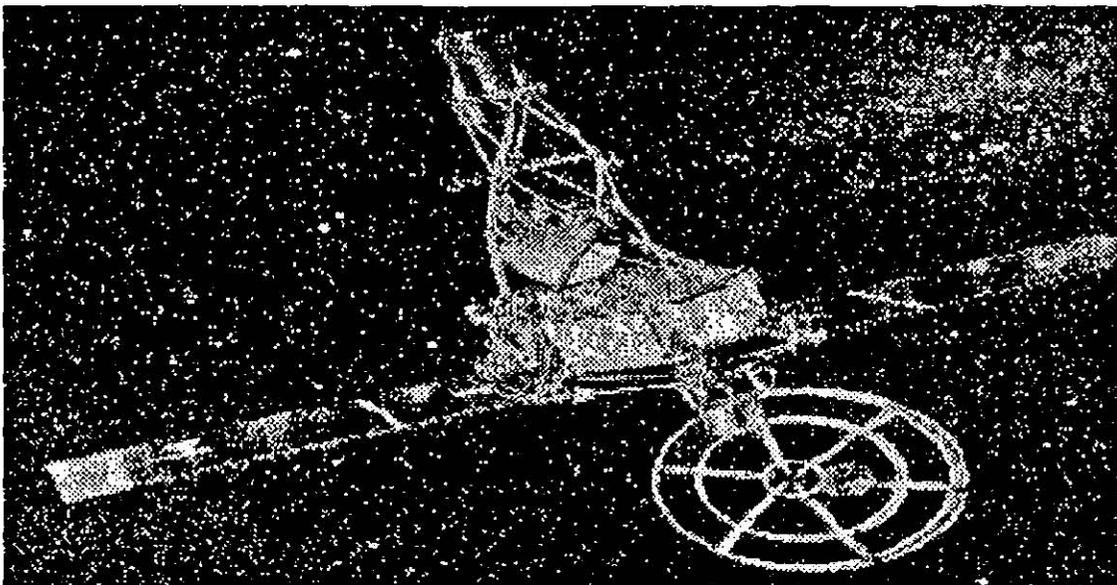
Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solo por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite genera también algunas fuerzas perturbadoras. El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, en sus arreglos solares o el combustible que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

Por último, la radiación radioelétrica de las antenas del satélite, produce una presión, cuyo efecto es importante cuando la potencia de transmisión es alta y está concentrado en un haz muy angosto. Esta fuerza origina un giro en el satélite y para reducir al máximo su efecto se deben diseñar con antenas colocadas simétricamente con respecto a su centro de masa.

LA TEMPERATURA DEL SATÉLITE

El satélite esta integrado por un gran número de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales y diseñados para realizar funciones diversas. 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 garantizar un control térmico eficaz es muy complejo puesto que se necesita mantener un balance térmico entre la energía que recibe el satélite por la radiación de fuentes externas y la energía que él mismo disipa internamente. El problema es muy complicado si consideramos que la fuente externa de radiación varía constantemente conforme el satélite gira alrededor de la Tierra.

La principal fuente de radiación externa es el sol, y éste le causa algunos problemas para conservar el balance térmico del satélite. El satélite tiene varias de sus partes expuestas a distintas temperaturas constantemente; mientras la parte que está orientada hacia el sol se calienta mucho, las partes no orientadas al sol se enfrían. En el interior del satélite, la transferencia del calor se lleva a cabo por conducción, y en el espacio por radiación; sin embargo, el efecto térmico de su radiación total es despreciable en comparación con la radiación total del sol.



OTROS FACTORES DE PERTURBACIÓN

El medio ambiente de casi vacío ocasiona que los metales y los semiconductores se sublimen y tiendan a evaporarse. Sin embargo, la cantidad de masa que pierden depende mucho de la temperatura, pero en realidad estas pérdidas son despreciables siempre y cuando los materiales no sean muy delgados.

Adicionalmente, las partículas cósmicas que inciden en el satélite ocasionan que sus plásticos se ionicen y que la eficiencia de sus celdas solares se degradan; estas también pueden modificar el acabado de las superficies diseñadas para controlar su balance térmico.

Los meteoritos pueden modificar la orientación y posición del satélite, y en algunos casos también pueden perforar partes de su exterior, por la energía que traen consigo y la velocidad a la que viajan. Por ello, la estructura del satélite debe tener la rigidez y capacidad de amortiguamiento suficiente para recibir impactos de baja densidad.

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE

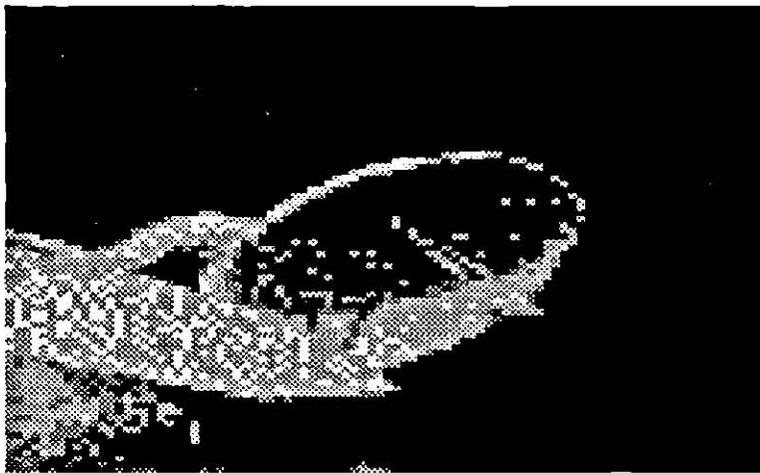
Un satélite es un sistema integrado por varios subsistemas, de los cuales los mas importantes se indican en la siguiente tabla:

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 de voltaje y corriente adecuados.
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 para corregir la posición y orientación del satélite.
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.

SUBSISTEMA DE ANTENAS

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que se procesan en el satélite, se transmiten de regreso hacia la Tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son diferentes a las que transmiten, pero también existe la posibilidad de recibir y transmitir por una sola antena, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación distintos. Los elementos de alimentación, son generalmente antenas de corneta conectadas a guías de onda, que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan de este para entregarla a los equipos receptores.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de entrada y salida de todo este mundo electrónico que es el satélite; se puede decir que son la interface de las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de sus subsistemas.



Paradójicamente, una antena chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena grande, que opere a la misma frecuencia, solo puede hacerlo en una extensión territorial mas pequeña. se puede pensar que para que hacer una antena grande si su radiación cubre un menor espacio territorial; la razón es sencilla, cuanto mas grande es la antena, tiene mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas de territorio, pero las irradia con mayor densidad de potencia; esto a su vez, facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. Por otra parte, cuanto mas alta sea la frecuencia de trabajo de una antena de dimensiones constantes, mayor capacidad para concentrar la energía; ésta es una característica de las antenas parabólicas, y en general de todas las antenas llamadas " de apertura " ; cuya capacidad de concentrar energía en un haz de radiación muy angosto es función de sus dimensiones y características 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.

Hasta ahora, solo se ha hecho referencia a las antenas del satélite cuya función es intercomunicar distintos puntos geográficos; pero existe otro tipo de antena muy importante, que no tiene nada que ver con la recepción ni la transmisión de señales tales como conversaciones telefónicas, programas de televisión o información digital.

Se trata de la antena de telemetría y comando, encargada de recibir señales que contienen órdenes emitidas por el centro de control en Tierra, para que se efectúe alguna corrección a bordo; también es responsable de enviar 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 esta funcionando en general; de esta manera, sus propietarios u operadores pueden realizar las operaciones necesarias enviando las señales de comando que, como ya se dijo, son recibidas por la misma antena.

La antena de telemetría y comando no es parabólica ni de corneta, pues estas ultimas son altamente direccionales; normalmente es una antena bicónica, cuya radiación es casi omnidireccional, es decir, que emite mas o menos con la misma intensidad en todas las 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 el mismo.

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas por el satélite entran a el a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la Tierra, después de procesarla debidamente.

Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que estén llegando simultáneamente. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores, conmutadores y multiplexores.

Es normal que las antenas y el equipo de comunicaciones se instalen repetidos, o que sean redundantes, para que en el caso de que uno de ellos se descomponga, exista alguna 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. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de transpondedor, o sea, que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite.

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

Un satélite puede tener varias antenas receptoras o quizá solamente una, dependiendo de su diseño y aplicaciones y cada una de ellas debe ser capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales con información que posteriormente serán amplificados por separado con distintos transpondedores. Es decir, las antenas transpondedoras, y lo mismo se aplica a las antenas transmisoras, tiene un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente en las bandas 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 denominados híbridos, que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente tanto en la banda C como en la Ku, con lo cual se duplica la capacidad en el número de canales que pueda manejar el sistema al mismo tiempo.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están entre 5.925 y 6.425 GHz. 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 transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 y 4.2 GHz, posteriormente, todas las señales contenidas en estas ultimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la Tierra.

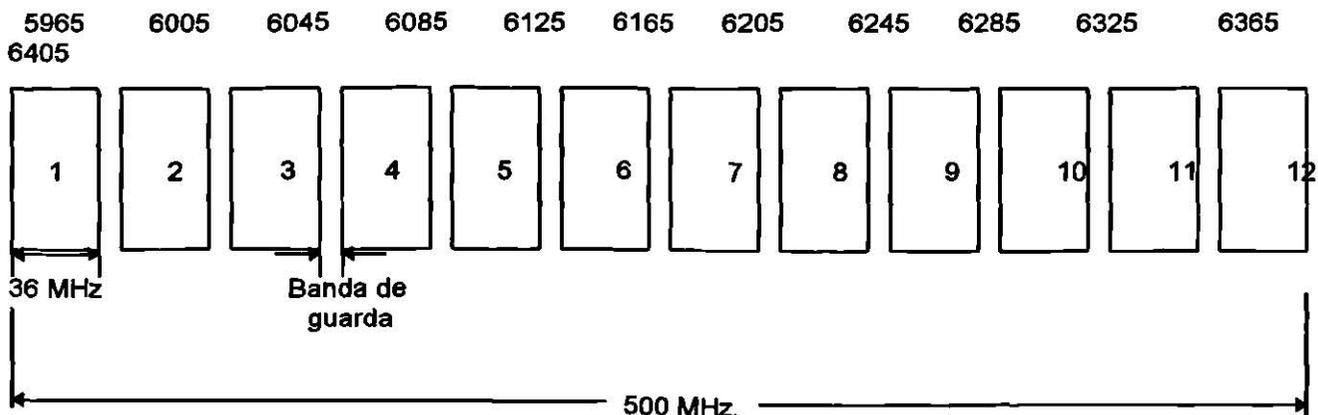
En la banda Ku, el proceso de recepción, conversión de frecuencias y transmisión es similar al de la banda C, solo que las frecuencias Tierra-satélite están entre 14.0 y 14.5 GHz, con una frecuencia central de 14.25 GHz, y las frecuencias satélite-Tierra están entre 11.7 y 12.2 GHz; en este caso, el 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; estos equipos están contenidos en secciones separadas del subsistema de comunicaciones, puestos que unos están diseñados para trabajar en la banda C y otros para hacerlo en la banda Ku. Es fácil intuir que estos satélites, por el hecho de duplicar su capacidad de trabajo, requieren mas energía eléctrica, y en consecuencia necesitan mas metros cuadrados de celdas solares para efectuar la conversión suficiente de energía solar en electricidad.

Ahora bien, podríamos pensar en como se enumeran los traspondedores?, recordemos que el ancho de banda de un satélite es de 500 MHz en total. Cuando un canal de televisión se transmite vía satélite, al modularlo en frecuencia, ocupa solo 36 de los 500 MHz. disponibles, y técnicamente esta ocupación puede hacerse en cualquier parte dentro de los 500 MHz. disponibles. Por conveniencia el ancho de banda del satélite se divide en ranuras, cuyo número depende de la aplicación del satélite.

Ahora, pongamos un ejemplo, donde el ancho de banda de un satélite se divide en 12 ranuras de 36 MHz. cada una. debemos tomar en cuenta que se deben dejar espacios entre una ranura y otra, con el fin de evitar interferencias, tal como se muestra en la sig. figura:

FRECUENCIAS CENTRALES (MHz.)



En la figura anterior se puede observar el ancho de banda de un satélite que opera en 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 se realiza una división similar del ancho de banda comprendido entre 3.7 y 4.2 GHz, con sus frecuencias centrales correspondientes.

Debemos de tomar en cuenta que una antena receptora no capta solamente las señales de un solo transpondedor, sino que recibe las señales de todos los transpondedores. Es decir, le entran distintas clases de señales al mismo tiempo.

Para la antena, esto no representa ningún problema, pero no es fácil construir aparatos electrónicos de alta potencia capaces de realizar funciones de amplificación óptimamente con todas esas señales al mismo tiempo. Por lo tanto, es necesario procesarlas y amplificarlas por separado, y esta es una de las razones por lo que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores.

Al llegar la señal a Tierra, el primer dispositivo electrónico importante que se encuentra por la antena es un amplificador de bajo ruido, con poca potencia de salida; este aparato genera internamente un poco de ruido, que se suma a la señal original que entra a él para amplificación. Todos los dispositivos electrónicos generan ruido, principalmente por su calentamiento, si este ruido es muy grande o intenso, entonces al sumarse con la señal original puede alterar su contenido. Es por esta razón que el ruido que genera este amplificador sea lo mas bajo posible, y de ningún modo se compare a la señal original en magnitud, puesto que las señales recibidas por el satélite son muy débiles.

Después de que todas las señales han sido amplificadas, casi fielmente, puesto que muy poca potencia de ruido se les ha sumado, continuarán un largo viaje por el transpondedor; en las siguientes etapas de amplificación se les seguirá introduciendo ruido, pero su efecto ya no será tan problemático como al principio en la primera etapa de amplificación, porque ahora tienen un nivel mas alto de potencia que las hace menos vulnerables.

Cuando las señales han alcanzado un nivel de potencia adecuado, pasan por un dispositivo conocido como convertidor de frecuencia, que es un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son muy similares a las que entraron, en lo que a contenido se refiere pero han sido desplazadas en frecuencia a una frecuencia mas baja en el espectro radioeléctrico.

Después de amplificar y cambiar la frecuencia de las señales, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques; cada uno puede contener un solo canal de televisión o dos, cientos de canales telefónicos, un paquete de información digital de alta velocidad, o alguna otra variante, la separación se realiza con un demultiplexor, que tiene 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 en bloques de 36 MHz cada uno. A continuación, cada bloque pasa por una etapa muy fuerte de amplificación, proporcionada por un amplificador de potencia, y después todos los bloques son reunidos nuevamente en un solo conjunto de 500 MHz. de ancho de banda, a través de un multiplexor, conectado a la antena transmisora del satélite tal como se indica.

Después de cada salida del de multiplexor 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 si es que hay mas de una. La regulación de la intensidad de entrada permite operar al amplificador de potencia en distintas condiciones o puntos de trabajo, es decir, se puede controlar la cantidad de potencia que salga de él, como sucede con un aparato de radio casero al que se le sube o baja el volumen girando una perilla. Sin embargo, si se toma en cuenta que la potencia de las señales transmitidas llega muy baja al satélite y que este tiene una capacidad limitada de amplificación, aparentemente no es lógico atenuarlas antes de amplificarlas.

Cuando los amplificadores de potencia del satélite entregan a su salida el máximo de potencia posible, se dice que están operando en su punto de saturación; para que esto ocurra, la potencia total de las señales que entran a ellos debe de tener un valor determinado. Sin embargo, no es siempre es necesariamente deseable obtener a la salida de un amplificador de potencia a la máxima posible, es decir, operarlo en saturación, todo depende de la clase de información que contenga el bloque que se va a amplificar.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada portadora, un canal digital que contenga datos, sin importar si es de alta o de baja velocidad, requiere tener su propia frecuencia portadora.

La característica de entrada-salida del amplificador es alinear 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 mas dañina, conforme se trata de obtener mas y mas potencia a la salida del amplificador, hasta llegar quizá a la máxima posible, correspondiente al punto de saturación. Por esta razón, es preciso operar 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 descritos anteriormente permiten regular la intensidad de las portadoras y entregar mas o menos potencia a la entrada del amplificador para que a su vez salga de el menos o mas amplificación de potencia, con un nivel aceptable de ruido de intermodulación.

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

No hay solamente un demultiplexor y un multiplexor, sino dos en cada uno. La potencia de la señal combinada de 500 MHz. de ancho de banda que sale del convertidor de frecuencia se divide en dos y cada parte resultante entra a uno de los demultiplexores; por medio de filtros, el demultiplexor 1 solo permite el paso a los canales impares y el demultiplexor 2 hace lo mismo con los canales pares; cada uno de estos canales impares o pares tiene un ancho de banda estándar de 36 MHz., aunque también puede haber otras variantes, dependiendo nuevamente del tipo y uso del satélite de que se trate.

El satélite Spacenet es híbrido, tiene 12 transpondedores angostos de 36 MHz. y 6 anchos de 72 MHz. en la banda C, así como 6 transpondedores de 72 MHz. en la banda Ku. Las señales de los transpondedores angostos de banda C son transmitidas hacia el satélite con polarización vertical y retransmitidas hacia la Tierra con polarización horizontal; para los transpondedores de ancho de banda C se usa polarización horizontal en el enlace de subida y vertical en el de bajada; y en cuanto a los transpondedores en la banda Ku, las señales suben al satélite con polarización vertical y bajan con polarización horizontal.

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

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN FRECUENCIA

Ya se ha visto que el ancho de banda total de 500 MHz. de un satélite se divide en varios transpondedores, y que una forma usual de hacerlo es con ranuras de 36 MHz.

Esto significa que amplificador de cada transpondedor puede darle cabida a una gran diversidad de información que ocupe en un total un ancho de banda de 36 MHz. Sin embargo, cada estación terrena que transmite desde la Tierra no tiene necesariamente el suficiente tráfico para generar información que ocupe todo ese ancho de banda y que pueda enviar con una sola frecuencia portadora determinada.

Al combinar todos los canales telefónicos y modularlos se tiene un efecto de un ancho de banda 36 MHz., en cuyo caso ocuparía todo un transpondedor en el satélite. De ser así, solamente habría una frecuencia portadora presente en el amplificador de potencia correspondiente y no se produciría ruido de intermodulación; esto permitiría aprovechar al máximo la potencia de salida del amplificador. Pero en realidad, este es un caso muy especial, y es mucho mas común tener agrupaciones de canales telefónicos que ocupan menos de 36 MHz. de ancho de banda.

Supóngase que una ciudad se designa por la letra A, la de tamaño medio por B y la población rural por C. Es evidente que, si las tres transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con frecuencias portadoras diferentes para que no haya interferencia.

Si la suma de los anchos de banda que requieren las tres estaciones individuales da un total cercano a los 36 MHz., entonces las tres ocuparán simultáneamente el mismo transpondedor del satélite, separadas por bandas de guarda.

Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas, estén o no situadas en la misma ciudad, reciben el nombre de acceso múltiple por división en frecuencia o FDMA , Ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a cada una de ellas.

La configuración es rígida e invariable, pues cada estación debe transmitir siempre con la misma frecuencia central o portadora, y es válida cuando se puede garantizar que, durante la mayor parte del tiempo, cada una de ellas ocupara activo ese ancho de banda que se le asignó; por esta razón, también se le llama acceso múltiple por división en frecuencia con asignación fija.

Esta claro que la utilización radía principalmente en sistemas comerciales de alta capacidad. Sin embargo, ¿que sucede cuando el tráfico generado en los puntos geográficos que comparten un transpondedor es intermitente y esporádico?,

Evidentemente, la capacidad de ese transpondedor no se estaría aprovechando con eficiencia si se emplease la técnica anterior, y en este caso se requiere utilizar otra versión de acceso múltiple que brinde mayor flexibilidad; la alternativa se denomina acceso múltiple por división en frecuencia con asignación por demanda o DAMA.

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

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

Existen muchas variantes en cuanto a la forma de ranurar en frecuencia un transpondedor y accesarlo y ocuparlo desde varias estaciones terrenas. Como norma general, SCPC con asignación por demanda se utiliza para comunicar puntos con el tráfico ocasional, como zonas rurales o de poco intercambio entre si.

Para enlazar puntos que generar tráfico permanentemente se emplea la asignación fija, y esta puede ser SCPC -cuando el tráfico es poco pero constante- o bien de portadora de multicanal o MCPC. Una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinados en forma adecuada, y la ranura de frecuencias necesarias para ubicarla es angosta o muy ancha dependiendo del número total de canales que contenga, estos pueden ser analógicos o digitales, con multiplexaje en frecuencia o en el tiempo, respectivamente.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO

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

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

La modalidad de TDMA que se utiliza mas en la práctica es la de ocupación del transpondedor completo por la portadora modulada, como solo hay una portadora presente en cada instante dentro del amplificador de potencia del transpondedor, no hay ruido de intermodulación y se puede aprovechar al máximo la potencia de la salida, beneficiándose de esta forma todas las estaciones terrenas que lo utilizan. Sin embargo, en varias situaciones, el tráfico manejado por una red de estaciones no es tan grande como para justificar la ocupación total de un transpondedor, sino solamente una fracción de el, en estos casos se comparte el ancho de banda del transpondedor en FDMA con los servicios prestados por otras estaciones independiente de la red TDMA.

La técnica del TDMA, al igual que la FDMA, no es mas que una forma mediante la cual las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de el. Independientemente del tipo de acceso que se utilice, es necesario que los canales de video, voz y datos que se van a transmitir pasen por varias etapas de procesamiento a partir de su estado de banda base, principalmente las etapas de multiplexaje y modulación, de las cuales hay una gran diversidad.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIFERENCIA DE CÓDIGO

Además de las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en los satélites comerciales de comunicaciones, existe una tercera alternativa en la que el transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo.

Esta técnica, denominada acceso múltiple por diferenciación de código o CDMA y que aparentemente resulta imposible, es particularmente útil en transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia, al igual que TDMA, es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy amplios.

Por otra parte, presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda, pues cada bit de información como los que se transmiten en modalidad TDMA se transforma en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente.

En virtud de que el ancho de banda que utiliza este sistema de CDMA es muy amplio, por la expansión del espectro en frecuencia de la señal al codificar cada bit de información en un nuevo tren de bits, también se le denomina acceso múltiple con espectro expandido.

FRECUENCIAS ASIGNADAS Y REUTILIZACION DE FRECUENCIAS

La capacidad de tráfico de un satélite está limitada por dos factores: Ancho de banda y potencia de los amplificadores. Por lo que respecta al ancho de banda, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha asignado para el servicio fijo por satélite las bandas C, Ku, X y Ka, con frecuencias centrales de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4, 14/11, 8/7 y 30/20 GHz, respectivamente; dependiendo de la región, hay variaciones entre los límites superior e inferior de cada una de estas bandas. Con respecto a la región la UIT ha dividido al mundo en 3 regiones para el efecto de coordinar sus recomendaciones en materia de servicios de telecomunicaciones; estas regiones son: REGIÓN 1.- África, Europa, URSS y Países Arabes; REGIÓN 2.- América; REGIÓN 3.- Asia y Oceanía. Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente en la actualidad, y hasta hace poco había solo 500 MHz de ancho de banda asignados en cada una de ellas, por lo que la mayor parte de los satélites que las utilizan operan con esa cantidad; sin embargo, ya se ha asignado otras bandas adicionales muy cercanas, y el ancho de banda se ha incrementado a 1000 MHz.. La banda X es empleada por satélites militares y gubernamentales. La banda Ka se encuentra aún en etapa de experimentación, pero muy pronto saldrán los satélites comerciales que la aprovechen.

COMUNICACION VIA SATELITE

Esta banda tiene un ancho de banda muy atractivo de 3 500 Mhz. pero su principal desventaja es que cuando llueve los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que los de las bandas C y Ku.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de frecuencias asignadas a cada una de las bandas para que funcionen los receptores y los amplificadores transmisores de los satélites.

BANDA	ENLACE ASCENDENTE (GHz)	ENLACE DESCENDENTE (GHz)
C: 6/4 GHz	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 500 MHz
	5.850 - 7.075 (1125 MHz)	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800 (1100 MHz)
X: 8/7 GHz	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)
Ku: 14/11 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	10.950 - 11.200 11.450 - 11.700 (500 MHz)
	12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1000 MHz)	10.700 - 11.700 (1000 MHz)
Ku: 14/12 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
Ka: 30/20 GHz	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3500 MHz)

SUBSISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para funcionar adecuadamente, todo satélite debe contar con un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y de corriente. La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular, depende de sus características de operación y normalmente varía entre los 500 y los 2000 watts. El subsistema de energía eléctrica depende de tres elementos fundamentales: Una fuente primaria, una fuente secundaria y un accionador 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 de voltaje y de corriente a cada una de las partes del satélite.

La fuente primaria de energía eléctrica del satélite está constituida por un arreglo de celdas solares, con excepción de las primeras horas inmediatas al lanzamiento en donde la energía es suministrada por baterías. Hasta ahora no se ha lanzado ningún satélite que se alimente de energía nuclear, pues los combustibles como el curio-244 el plutonio, aún cuando son relativamente fáciles de usar y requieren un sistema de protección sencillo para que la radiación no dañe a los componentes electrónicos del interior del satélite, son muy caros; por otra parte, los combustibles baratos como el estroncio-90, son peligrosos y pueden dañar al medio ambiente. Solo las sondas interplanetarias enviadas a 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 en la actualidad de las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía es muy baja. En un principio era del orden del 8%, y ha ido aumentando poco a poco conforme avanza la tecnología. Las celdas solares trabajan mediante el efecto fotovoltaico, cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor será la electricidad que generen.

La intensidad de la radiación solar sobre las celdas del satélite no es constante, puesto que este se acerca y aleja del sol junto con la Tierra al desplazarse alrededor de él, completando así, una vuelta en un año.

En el caso de los satélites estabilizados por giro o rotación, las celdas solares no están expuestas al sol en todo momento, y solo se aprovecha una parte de ellas para efectuar la conversión de energía, de hecho, el porcentaje aprovechado en cada instante es de aproximadamente un tercio, por 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 giroscópicos y que mantienen estable al satélite sin necesidad de que este gire. Sus celdas solares cuentan con un mecanismo para orientarse constantemente hacia el sol; esto permite aprovechar al máximo las celdas, y todas al mismo tiempo, ya que la

eficiencia de conversión de energía es función del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre ellas.

Durante su vida útil, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos requiere obtener energía eléctrica de otros medios que no sean las celdas solares para poder seguir su funcionamiento; esta fuente secundaria o de respaldo está constituida por un banco de baterías, que se cargan cuando las celdas solares se encuentran expuestas al sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía. Al ocurrir un eclipse, ya sea de Luna o de Tierra unos relevadores detectan la disminución de energía por parte de las celdas solares a los equipos y conectan automáticamente las baterías.

Los eclipses ocurren cuando la Tierra o la Luna se interponen entre el sol y el satélite; los eclipses pueden durar desde uno cuantos minutos hasta un máximo de 70 minutos.

En cuanto a los eclipses de Luna se refiere, estos ocurren cuando ella se interpone entre el sol y el satélite, ya sea parcial o totalmente. Este fenómeno puede ocurrir entre cero y cuatro veces al año, con un promedio de dos; asimismo este puede acontecer dos veces en un mismo periodo de 24 horas, y su duración puede durar desde unos cuantos minutos y hasta 2 horas, con un promedio de 40 minutos.

Las baterías que mas se utilizan en un satélite geoestacionario son las de níquel-cadmio; su eficiencia de potencia/peso es baja pero se prefieren porque son muy confiables y de larga duración. Sin embargo algunos satélites ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen grandes ventajas tecnológicas sobre las de níquel-cadmio. Hay otros tipos de baterías que se encuentran en investigación, como son las de plata hidrógeno y las de litio-sodio entre otras.

SUBSISTEMA DE CONTROL TÉRMICO

Varias partes del satélite requieren rangos distintos de temperatura para operar eficazmente, y es necesario mantener un balance 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 aportación proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe del Sol y de la Tierra son otros factores que se deben considerar.

La energía proveniente de la Tierra la integran dos tipos de radiación; la propia de ella y la del Sol reflejada en su superficie. La suma del calor generado internamente por el satélite mas el producido por la absorción de energía del Sol y la Tierra, menos el radiado por el satélite hacia el exterior, se debe mantener lo mas constante posible, con pocas variaciones, de tal modo que el satélite funcione integra y correctamente.

El control de este balance térmico es muy importante cuando ocurre un eclipse, pues el satélite se enfría bruscamente al quedar en la oscuridad, y cuando está de nuevo expuesto a los rayos del Sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

La transferencia del 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 esta transferencia es por conducción en la estructura. Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en satélites tienen a su alcance diversos tipos de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del satélite.

Los colores también juegan un papel importante en el acabado de las partes del satélite, dependiendo del lugar en el que se encuentre cada una de ellas en la estructura, al igual que las propiedades de absorción y emisión de los materiales. Así la pintura blanca absorbe la radiación infrarroja de la Tierra pero rechaza el flujo solar.

Sin embargo, el equilibrio térmico se altera cuando ocurre un eclipse, pues en ese momento desaparece la contribución de calor proveniente de los rayos del Sol. 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 los componentes más sensibles a las bajas temperaturas dejarían de funcionar correctamente; unos de los componentes más sensibles a las bajas temperaturas son por cierto, las baterías, que son las responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante un eclipse, y por lo tanto es preciso contar con un sistema de calefacción que encienda cuando la temperatura comience a bajar en forma significativa.

SUBSISTEMA DE POSICIÓN Y ORIENTACIÓN

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la Tierra y transmitir las hacia otra parte 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 cual se obtiene mediante las técnicas de **estabilización por giro** o de **estabilización triaxial**.

Con la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite (o en algunos casos toda la 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 hacían girar en sentido contrario al giro del cuerpo del satélite, de tal forma que en realidad no se movían con relación a la superficie de la Tierra.

Sin embargo, esta solución perdió practicabilidad al ir evolucionando las generaciones de los satélites, y hoy solo una parte gira y lo demás permanece fijo (incluyendo a las antenas); la unión entre la parte 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 propio eje se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadoras.

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 uno de los tres ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite hacia la Tierra.

Por lo que se refiere a la determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre, se puede utilizar para ello una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los de Sol y los de Tierra. Los sensores 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. Por su parte los sensores de Tierra miden la radiación infrarroja emitida por el planeta, utilizando para ello un dispositivo sensible al calor, como 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.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con algunos valores de referencia considerados como correctos, calcular a continuación las correcciones que deben hacerse para reducir esos errores, y finalmente llevarlas a cabo mediante la operación de algún conjunto de actuadores montados en el satélite. Entre otros tipos de actuadores, se cuenta con los volantes, que pueden ser inerciales, de momento y de reacción con cojinetes magnéticos, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par correctivo; así mismo, hay bobinas que generan un momento magnético mediante una corriente eléctrica cuando esta interactúa con el campo magnético de la Tierra, produce así el par deseado de corrección; en ambos casos, la magnitud que se puede obtener en los pares generados de corrección, es poca, y por consiguiente estos dispositivos son poco empleados como actuadores.

SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN

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

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa necesaria para producir un incremento de velocidad determinado mayor es el impulso específico del propelente. El impulso específico se puede definir como el empuje aplicado por cada unidad de peso del propelente que se consuma cada segundo.

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 utilizaban gases fríos como el nitrógeno y el peróxido de hidrógeno; sin embargo su impulso específico era muy bajo y muy pronto fueron sustituidos por la **hidrazinamonopropelente**.

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 ponen en contacto. Al unirse las dos sustancias, se produce una combustión instantánea; de estas sustancias las más comunes son la hidrazina monometilica (combustible) y el tetróxido de nitrógeno (oxidante), que al combinarse produce un impulso específico del orden de 300 segundos. La ventaja que ofrecen los propulsores bipropelentes es que permiten diseñar un sistema unificado de propulsión que a la vez sirva para colocar al satélite en su órbita definitiva tanto como para realizar las maniobras de corrección de orientación y posición durante todos los años de vida del satélite, utilizando para ello los mismos tanques de almacenamiento de combustible.

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 magnético, pero aún así aún se encuentran en estado de prueba y desarrollo, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y de cesio.

SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRÍA Y COMANDO

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

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

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 transpondedores empleados para la comunicación 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 mas bajas que las de la banda C o Ku.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura, o bien- durante la colocación en órbita- extender los paneles solares, mover las antenas y encender el motor de apogeo.

Todas estas señales de comando van codificadas, por cuestiones obvias de seguridad, y la mayor parte de los sistemas que operan actualmente utilizan una secuencia en la que el satélite primero retransmite al centro de control los comandos que haya recibido, estos son verificados en la Tierra, y así se comprueba que las órdenes fueron recibidas correctamente, entonces es 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 dan la rigidez necesaria para soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se ve sujeto desde el momento en que abandona la superficie de la Tierra; este importante subsistema debe ser durable, resistente y lo mas ligero posible.

Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita, el satélite se enfrenta a vibraciones, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos, fuerzas centrífugas, empujes de los propulsores y esfuerzos mecánicos - cada vez que se desprende alguna etapa del cohete que lo transporta o del él mismo.

Cuando llega a su posición órbita 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 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 mas comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero, y varios plásticos reforzados con fibra de cartón; de estos, el berilio es el mas 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 puede variar entre 10 y 20 % del total de la masa del satélite, una buena parte de esa estructura (los cilindros o las paredes de la caja, según el caso) se fabrica con "panal de abejas" (honeycomb) de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

SERVICIO FIJO

Una red de comunicaciones de servicio fijo consiste en uno o varios satélites y las estaciones terrenas que se intercomunican por medio de estos, con la particularidad de que las estaciones siempre permanecen en el mismo punto geográfico donde se hayan instalado inicialmente, es decir, son fijas. Lo anterior no significa que las estaciones no puedan tener cierta flexibilidad en su movimiento, puesto que en ciertas ocasiones se necesita reorientarlas para tener mayor calidad de recepción o para cambiar de satélite, y a pesar del movimiento de giro que la antena tenga temporalmente, la estación permanece siempre fija en el suelo. Un caso muy particular es el de las unidades llamadas "móviles", que consisten en un plato parabólico, el equipo necesario para la transmisión recepción, y una planta propia de energía eléctrica, montados en una camioneta o camión; estas unidades móviles son de gran utilidad cuando se desea ofrecer un servicio temporalmente, o cubrir un acontecimiento de corta duración que se desarrolle en un lugar carentes de instalaciones propias de transmisión o recepción. Como ejemplo tenemos la transmisión en vivo de algún encuentro de fútbol o cualquier evento deportivo. El servicio fijo abarca la transmisión y recepción de televisión, radio, telefonía y datos.

SERVICIO MÓVIL

Muchos usuarios que requieren comunicarse vía satélite tienen la característica de que sus equipos no permanecen fijos, sino que se mueven o cambian de lugar constantemente. Las redes de comunicación que cumplen estas demandas pertenecen a la rama del **servicio móvil** vía satélite.

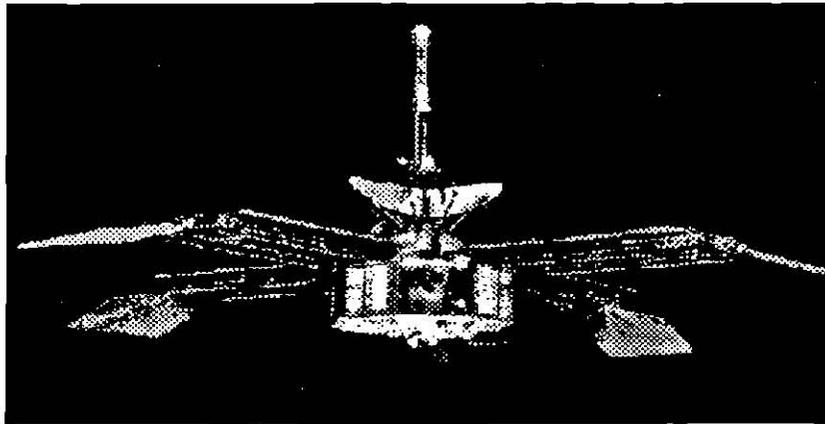
En estos casos las personas a bordo de vehículos pueden comunicarse con otros vehículos o con puntos fijos. El equipo de comunicación del vehículo debe tener una antena capaz de permanecer en contacto con el satélite geoestacionario, independientemente de su movimiento. Dependiendo del tipo de vehículo, sus dimensiones y la cantidad y diversidad de información que transmita o reciba, debe tener una clase diferente de antena y equipo electrónico. Las redes de comunicación móvil nacieron después de las de servicio fijo y aún no se ha perfeccionado del todo, aún se encuentra en etapa de estudio, diseño y construcción.

TIPOS DE SATÉLITES

En la actualidad hay gran diversidad de satélites geoestacionarios orbitando la Tierra. Algunos de ellos se utilizan para el desarrollo móvil de comunicaciones.; otros están dedicados al servicio fijo de comunicaciones, y el número restante cumple con otros propósitos como la observación meteorológica, vigilancia y experimentación.

No todos los satélites operan a la misma frecuencia, pero lo que respecta a los de comunicaciones, la mayor parte funciona en las bandas C y Ku; algunos de estos son híbridos, es decir, trabajan en las dos bandas, pero son todavía muy pocos.

La tendencia que existe actualmente es el sustituir los satélites que operan en una sola banda por satélites híbridos, ya que estos permiten duplicar el ancho de banda de transmisión y recepción, con el consecuente incremento en la cantidad de información que se puede conducir, aunque a expensas de mayor complejidad y costo.



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

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACIÓN TERRENA

INTRODUCCIÓN

Todo satélite es solo un nodo o punto intermedio en una red de comunicaciones de la que forma parte, que se complementa con las estaciones terrenas que se comunican a través de él. Una **estación terrena** consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es la antena o plato parabólico. El término "estación terrena" se utiliza indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si está fijo en algún punto o si es una unidad móvil. Las estaciones contribuyentes emplean fundamentalmente solo la antena y el transmisor; por sus características de radiación, todas las estaciones terrenas que tengan antenas pequeñas no necesitan sistema de rastreo, mientras que las de diámetro muy grande si lo requieren para conservar un angosto haz directivo bien apuntado hacia el satélite; cuando una estación terrena satisface necesidades vitales de comunicación, no se desea que deje de funcionar por posibles y eventuales fallas locales en el suministro de energía eléctrica, por lo que debe tener una propia planta de respaldo, denominada como **sistema ininterrumpido de energía**.

LA ANTENA

CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS Y FUNCIONAMIENTO

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibeles en relación con la potencia radiada por una antena isotrópica. La antena isotrópica es una antena ficticia que radía simultáneamente en todas direcciones con la misma densidad de potencia alrededor de ella, se emplea como referencia y se supone que recibe la misma potencia de alimentación que la antena real. Por lo tanto siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales a recibir, o en la dirección en la que se quiera transmitir algún tipo de información, y la mínima en todas las demás direcciones que no son de interés; de allí que los lóbulos laterales de radiación de la antena deben ser lo más pequeños posible, para que no capten las señales indeseables de otros satélites o sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas.

Estrictamente, la ganancia de una antena siempre tiene un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por conveniencia se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación; su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con la que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo. Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia, su lóbulo principal de radiación es mas angosto, y los lóbulos secundarios se reducen; así mismo, si su diámetro se conserva fijo, el mismo efecto anterior se obtiene entre mayor sea la frecuencia de operación, pues “eléctricamente” hablando, la antena es mas grande en términos de longitudes de onda.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en un punto común llamado foco; así mismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación. Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena y en el se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta; el tipo de alimentador define finalmente la ganancia de la antena y las características de sus lóbulos. Hay varios tipos de alimentación de una antena parabólica, pero los tres mas utilizados son los de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain.



En una antena de alimentación frontal, el eje del alimentador coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radía está orientada hacia el suelo; esto último presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por el desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida. Asimismo, si la antena está recibiendo del satélite, los rayos que incidan sobre el piso cerca de la antena se reflejan hacia el alimentador, y pueden causar una degradación en la calidad de la señal recibida al sumarse fuera de fase con los rayos directos que son reflejados por el plato parabólico. El desborde de la antena se puede reducir al aumentar el diámetro de la antena o si se utiliza un alimentador de mayor directividad, esto puede provocar que la antena sea demasiado voluminosa, o bien que el alimentador y su estructura bloqueen el paso libre de las señales.

A pesar de tales desventajas, incluyendo la del montaje del equipo electrónico inmediatamente atrás del alimentador, esta antena resulta fácil de construir y económica, y para ciertos fines su operación es satisfactoria, por lo que se utiliza universalmente en las estaciones caseras de recepción de televisión.

El bloqueo del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se pueden evitar utilizando una antena parabólica con **alimentación descentrada**. En este caso, solo se emplea una sección del plato parabólico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir, los ejes de la corneta y del paraboloide no coinciden, de allí el nombre de alimentación descentrada. Sin embargo, la construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es mas costosa que la de alimentación frontal, además de que no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica.

La antena Cassegrain es mucho mas eficiente que los dos tipos anteriores y su ganancia es mayor, pero su precio es mas alto. Se utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras de televisión, así como en todas las que reciben y transmiten grandes cantidades de información de telefonía y datos, incluyéndose en ellas las pequeñas antenas de las empresas hasta las medianas y grandes usadas por el servicio público, doméstico e internacional. Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con la superficie hiperbólica, llamado "subreflector", y el alimentador ya no tiene su apertura orientada hacia el suelo, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la Tierra sino principalmente por emisiones de la atmósfera. Los ejes de la parabólica, el alimentador y la hipérbola coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y con un alimentador mas alejado de su vértice; de esta forma, la parábola equivalente captura mejor la energía radiada por el alimentador y el desborde se reduce significativamente. Además esta antena presenta la gran ventaja de poder colocar el equipo electrónico en una pequeña cabina inmediatamente atrás del alimentador sin ningún tipo de problema y sin importar mucho su peso y dimensiones, reduciendo así todo tipo de pérdidas por cableado.

Además de los tipo de antenas ya mencionados, existen varios otros que también son empleados en ciertas aplicaciones aunque en realidad son muy pocas. De cualquier forma, las antena parabólicas de alimentación frontal y las Cassegrain son las mas aceptadas en la actualidad, tanto en banda C como en Ku, y tal parece que así seguirá por muchos años.

ORIENTACIÓN EN ELEVACIÓN Y AZIMUT

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geoestacionario se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimut; los valores de estos ángulos depende de la posición geográfica de la estación- en altitud y longitud- y de la ubicación en longitud del satélite.

Tomando como referencia el eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquel formado entre el piso y el dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite, por su parte, el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj- con relación al norte geográfico de la Tierra- para que ese mismo eje de simetría- prolongado imaginariamente- pase por la posición en longitud del satélite.

Cuando se requiere cambiar la orientación de la antena de un satélite a otro, es necesario variar- mediante algún mecanismo- sus ángulos de elevación y azimut; además aunque se mantenga siempre en comunicación con el mismo satélite- y dependiendo de la aplicación de la estación terrena-, también es necesario efectuar con frecuencia correcciones pequeñas en ambos ángulos, pero como ya se ha visto anteriormente, ningún satélite geoestacionario es realmente fijo, sino que tiende a salirse poco a poco de su posición orbital.

Por otra parte, por ejemplo, las embarcaciones marítimas cambian constantemente de posición y dirección, y las antenas de sus estaciones terrenas deben reorientarse sincronizadamente en elevación y azimut para conservar la comunicación con el satélite; incluso, puede haber casos en los que la estación terrena sea fija, algunas condiciones ambientales ocasionales- como la lluvia y el viento- y el mismo peso de la antena modifiquen su orientación y sea necesario realizar pequeñas correcciones de los ángulos de la elevación azimut para garantizar una recepción o transmisión óptima de las señales.

TIPOS DE MONTAJE

Los desplazamientos del satélite y el tipo de estación terrena, así como su posición geográfica, sus aplicaciones y las necesidades que tengan para pruebas y mantenimiento frecuente, determinan la estructura del montaje que la antena debe tener, ya sea de elevación-azimut, X-Y o ecuatorial; de todos estos el mas utilizado es el de elevación-azimut, le sigue el de X-Y pero solo se utiliza algunas veces, y el ecuatorial casi nunca se utiliza. Todos tienen dos ejes para realizar los movimientos de orientación de las antenas, uno es fijo con respecto a la Tierra y se denomina primario, la alineación de este eje no cambia, pero por supuesto gira para orientar la antena adecuadamente, el otro es móvil con respecto al otro eje y se denomina secundario.

En el caso del montaje **elevacion-azimut**, la antena tiene su eje primario fijo en la dirección vertical, y al girar alrededor de él se efectúan los cambios en el ángulo de azimut, su eje secundario es horizontal y con el se realizan los cambios en el ángulo de elevación. Este tipo de montaje es sencillo y tiene la ventaja de que solo el giro en elevación puede producir deformaciones en la geometría de la antena debidas a su peso. Por esta razón lo utilizan la mayor parte de las antenas que deben conservar una buena precisión geométrica en la superficie de su reflector y el apuntamiento de su haz principal de radiación.

El montaje **X-Y** tiene su eje primario colocado en forma horizontal, y el eje secundario es perpendicular a el. La configuración es práctica para rastrear con facilidad un satélite cuando este pasa por el cenit (es decir, cuando pasa por encima de la estación, en la zona ecuatorial), puesto que se evita hacer desplazamientos de la antena tan rápidos como los que sí se necesitan hacer con el montaje elevacion-azimut; pero resulta inadecuada para rastrear satélites cerca del horizonte. En general, las antenas con montaje X-Y se utilizan mas para comunicaciones con satélites de órbita baja que para comunicaciones con satélites geoestacionarios.

Por lo que respecta al montaje **ecuatorial**, su eje primario es paralelo al eje de rotación de la Tierra, y este es llamado horario; y el secundario es un eje perpendicular de declinación; como el eje primario es paralelo al eje polar de la Tierra, a este montaje también se le llama **polar**. Normalmente se usa para montar radiotelescopios, pues permite que la antena siga a un objeto celeste con solo girarla sobre su eje primario (horario), y se utiliza poco en estaciones terrenas de comunicaciones. Sin embargo, es posible que en el futuro se emplee en mayor grado en estaciones con antenas pequeñas o medianas localizadas en latitudes intermedias, considerando que sus haces de radiación son relativamente anchos y pueden orientarse hacia distintos satélites con un solo movimiento sobre su eje , sin importar los muy pequeños cambios asociados en la declinación. De cualquier forma, cabe señalar que los ajustes de los ejes horario y declinación son mucho mas complicados que los de un montaje de elevacion-azimut.

RASTREO DE UN SATÉLITE

Dependiendo de cuanto se mueva el satélite "geoestacionario" en relación con su posición designada y el ancho de haz de la antena terrestre que se quiera comunicar con él, se puede requerir o no de un sistema de rastreo. El ancho de haz, se puede decir , que es el ángulo formado entre las dos direcciones de radiación donde la potencia es la mitad de la potencia máxima radiada por la antena. Cuanto mas angosto sea el ancho de haz de la antena y esta este mas cerca del Ecuador, el apuntamiento se vuelve mas importante, especialmente si el satélite está directamente "encima" de la estación. En cambio si la estación esta a una latitud lejana al Ecuador, la amplitud de los movimientos del satélite tiene un impacto mucho menor en los ajustes necesarios de la orientación de la antena para rastrearlo.

En el caso de que el ancho de haz sea mayor que la ventana de movimiento del satélite entonces no se necesita un sistema de rastreo, pero la aplicación de la antena es la que dicta finalmente esta necesidad.

El **rastreo preprogramado** consiste en determinar anticipadamente los movimientos del satélite y programar acordemente el mecanismo de orientación de la antena de la estación terrena para que lo siga. El satélite no se mueve aleatoriamente, sino de acuerdo con la influencia de las fuerzas perturbadoras; por lo tanto, con programas de computadora se pueden predecir sus movimientos. Las instrucciones necesarias se almacenan y se van proporcionando al mecanismo de rastreo para que realice los ajustes de orientación, con lo cual se garantiza siempre una buena comunicación. Esta técnica se utiliza en estaciones de tamaño medio en sistemas internacionales.

El método de seguimiento automático de **rastreo por pasos** consiste en que a intervalos regulares, la antena detecta la intensidad de una señal guía emitida por el satélite; a continuación gira un poco, es decir **da un paso**, alrededor de uno de sus ejes de montaje y compara la intensidad de la señal recibida con la anterior; si la intensidad de la señal baja, entonces se mueve ahora en dirección opuesta, si aumenta en ese sentido continua dando "pasos", tanto en elevación como en azimut hasta detectar el nivel máximo de la señal. Todos estos movimientos por pasos, son controlados por un procesador, y su precisión de apuntamiento depende del tamaño de sus pasos, así como de la estabilidad de la señal guía y de las condiciones de propagación.

El sistema de **rastreo monoimpulso** es el mas preciso y confiable para las antenas grandes, especialmente si funcionan en la banda Ku. Los primeros sistemas de rastreo monoimpulso utilizan cuatro antenas de corneta colocadas simétricamente alrededor del foco geométrico de la parábola; estas reciben simultáneamente la señal guía, llamada también radiobaliza, emitida por el satélite y las detecciones de las cuatro se comparan para determinar señales de error en el apuntamiento y efectuar las correcciones necesarias. Su inconveniente es que conduce al uso de alimentadores aparatosos y complicados.

EL TRANSMISOR

Las estaciones terrenas transmisoras sencillas cuentan con un solo bloque de transmisión, las que conducen una gran cantidad de señales tiene varios bloques en paralelo. El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor de elevación o convertidor elevador y amplificador de potencia. Después de que una señal ha sido generada y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexión en frecuencia o en tiempo, se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada eficazmente a través del aire, hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera con otras señales; este acondicionamiento permite que también se le pueda recuperar fielmente en la

estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar. El proceso electrónico que se efectúa con este fin es el de la modulación de una portadora que es una señal de alta frecuencia cuyas características se transforman con los parámetros de la señal de información, la cual se transmite sobre ella; existen varios tipos de modulación, los mas comunes son el analógico de modulación en frecuencia y el digital de desplazamiento de fase.

El **modulador** de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctico, la cual es transferida a frecuencias mas altas; este paso de la señal modulada, que es la señal que contiene la información original y la portadora, a frecuencia intermedia es el primero en el ascenso de conversión a microondas. Aunque el modulador eleva a la señal a una región mas alta del espectro radioeléctico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para ser radiada eficazmente a través de la atmósfera. Por lo tanto es necesario subirla mas en frecuencia, empleando para este fin un convertidor elevador de frecuencia (up-converter).

El **convertidor elevador** transfiere a la señal de la frecuencia intermedia (que dependiendo del sistema, puede tener una frecuencia central de 70 MHz., 140 MHz., 1 GHz, o mas), a una posición dentro del espectro radioeléctico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho mas altas que cuando salieron del modulador.

La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para ser radiada al satélite, pero su nivel de potencia es muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena; con el fin de amplificar esta señal, se utiliza un amplificador de alta potencia (HPA), del cual existen fundamentalmente dos tipos: el tubo de ondas progresivas o twt, y el klistron.

Un **tubo de ondas progresivas** es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite, por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo. Sus características de operación son satisfactoriamente constantes a cualquier frecuencia, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas su potencia de salida no se puede aumentar al máximo; de hacerlo el ruido de intermodulación sería muy grande. Para reducir el ruido, es necesario operar el amplificador en un nivel de potencia de salida bajo, con la consiguiente pérdida de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida (back off). A pesar de este inconveniente, el uso de tubos de ondas progresivas es mas común que el de los klistrones, pues una de las ventajas es que se puede efectuar cualquier modificación en la frecuencia central de amplificación, dentro del ancho de banda de operación del satélite, sin tener que sintonizarlo como es el caso de los klistrones, además de

que no hay que emplear un combinador especial de señales de salida, como si ocurre con los klistrones.

El **klistron** es un amplificador de banda estrecha, es decir, en transmisiones en banda C a 6 GHz, el ancho de banda de un klistron es normalmente de 40 MHz, y en una transmisión en banda Ku a 14 GHz el ancho de banda del klistron es normalmente de 100 MHz, lo cual es suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión. Cuando una estación terrena tiene varios klistrones y desea transmitir toda la información procedente de ellos a través de una misma antena, se necesita utilizar un combinador de señales, que introduce pérdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por back-off en los TWT. Además de estas pérdidas, el combinador se convierte en un punto de interacción entre las salidas de los distintos klistrones lo que puede conducir a interferencias entre ellos.

De cualquier forma, algunos usuarios aún prefieren los klistrones para sus instalaciones, porque tiene una eficiencia de cerca del 40% de aprovechamiento de energía eléctrica, lo cual es mayor que los TWT, aparte son muy confiables, duran mucho tiempo en servicio, y son mas económicos que los TWT.

También existen los **amplificadores de baja potencia** o LPA, los cuales están hechos con tecnología de estado sólido. Su potencia de salida es de unos cuantos watts, y la mayor parte funciona con transistores de efecto de campo (FET). Estos amplificadores los utilizan estaciones terrenas que no tienen mucha información a transmitir como por ejemplo unos cuantos canales telefónicos, o algunos canales de datos a baja velocidad.

EL RECEPTOR

GENERALIDADES

Funciona como un gran espejo directivo en el espacio; la señal emitida por él es muy aproximada a la de la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencias mas bajas en el espectro radioeléctico y, por supuesto, es amplificada. En su trayectoria hacia la Tierra, la señal viaja un promedio de 36,000 Km. y, por lo tanto, su nivel de potencia al llegar a las antenas receptoras es sumamente bajo. La estación después de capturar y amplificar la señal, debe separar solo aquella parte que le corresponde para procesarla. Hay que tomar en cuenta que posiblemente la información dirigida a una estación en particular provenga de diferentes estaciones terrenas transmisoras que funcionen con transpondedores distintos en el satélite; por lo tanto, esas señales ocupan posiciones distintas dentro del ancho de los 500 MHz del paquete de información que maneja el satélite y, en consecuencia la estación receptora debe extraer únicamente las porciones que le interesen.

EL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO

La antena recibe señales provenientes del satélite y a través de un diplexor se las entrega a un **amplificador de bajo ruido**; este funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite, por las mismas razones de que la señal a su llegada tiene una intensidad muy baja y de que es muy vulnerable a cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos mas importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación. La antena como ya se comentó anteriormente tiene una **amplificación o ganancia**; ese parámetro es muy importante en términos de recepción (se puede decir que el mas importante), y se define como G .

Por su parte el amplificador de bajo ruido tiene una "temperatura de ruido" como su principal parámetro indicativo, y mientras este factor sea mas bajo, tanto mejor es la calidad del mismo, porque el ruido que se añade a la señal de recepción, es menor y la calidad de recepción aumenta. Sin embargo el amplificador de bajo ruido no es el único que genera ruido, sino que la antena también produce algo de ruido, el cual es denominado como "temperatura de ruido de la antena", y al sumarse este con la temperatura de ruido del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura total T de ruido en el sistema, siempre que las pérdidas por los conectores sean bajas.

La relación del cociente G/T es una cantidad que se utiliza comúnmente para definir las cualidades de la recepción de una estación terrena, y según el satélite con el que se comunique, debe tener un valor mínimo para funcionar de manera aceptable.

Esta relación G/T se conoce como **factor de calidad** o "cifra de mérito" y como la ganancia de la antena está dada en decibelios y la temperatura de ruido está dada en grados Kelvin, sus unidades son $\text{dB}/^\circ\text{K}$.

La temperatura de ruido del amplificador de bajo ruido es función de varios de sus parámetros, tales como su ganancia, las características de sus componentes y la temperatura física de ellas. Si la temperatura física se logra reducir, la temperatura de ruido también disminuye, por lo tanto es conveniente enfriar al amplificador lo mas que se pueda, quizá hasta llegar al cero absoluto, y procurar situarlo lo mas cerca del diplexor para evitar pérdidas.

La temperatura del amplificador se puede reducir por diferentes medios como la refrigeración criogénica, termoeléctrica o por compensación de temperaturas. La **refrigeración criogénica** incluye dispositivos con partes móviles y consiste básicamente en un sistema de circulación de helio gaseoso, alcanzando con esto temperaturas hasta de -250°C .

El sistema de refrigeración termoeléctrica logra reducir la temperatura de los componentes sensibles del amplificador hasta los -50°C ; tiene la ventaja de que no necesita de ninguna parte móvil además de que se instala directamente dentro del dispositivo, en una caja sellada herméticamente, lo cual le da mucha robustez y facilidad de mantenimiento. La refrigeración opera con diodos que aprovechan el efecto Peltier, que consiste en que cuando se le aplica corriente eléctrica a un circuito hecho con la unión de dos conductores distintos, uno se calienta y el otro se enfría, y el efecto es mayor cuando los materiales de la unión son semiconductores.

En lo que a la refrigeración por compensación de temperatura se refiere, esta se utiliza cuando no es estrictamente necesario que la temperatura de ruido sea muy baja; emplea sistemas de control mas sencillos que los sistemas de refrigeración termoeléctrica, es muy confiable, y también puede usarse a la temperatura ambiente.

En algunos casos, la contribución de ruido de un amplificador se expresa en función de un factor de ruido F , en lugar de su temperatura de ruido equivalente T expresada en grados Kelvin.

CONVERSIÓN DE FRECUENCIA, DEMODULACION Y CALIDAD DE RECEPCIÓN

Después del amplificador de bajo ruido están conectados en cadena un convertidor reductor de frecuencias y un demodulador, sin contar algunos filtros intermedios; el convertidor reductor tiene la función de transferir toda la información del ancho de banda del satélite (500 MHz) a una región mas baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia (FI) de recepción, es decir, hace la función inversa al convertidor elevador de una estación terrena transmisora.

La conversión de reducción de frecuencia se puede realizar en un solo paso, se baja la frecuencia de llegada a la antena hasta la frecuencia intermedia (FI) que se debe entregar al modulador.

La señal de frecuencia intermedia que sale del convertidor reductor aún está modulada y el paso siguiente para recuperarla en su forma original de banda base es precisamente demodularla. En realidad la señal nunca se recupera exactamente como era en su forma original, ya que muchos factores como el ruido térmico y otros se encargan de distorsionarla. El grado de distorsión que se produce depende del tipo de modulación que se haya elegido, del nivel de potencia transmitida, de la ganancia de las antenas y de otros parámetros del diseño del enlace.

De cualquier forma, si el enlace ha sido bien diseñado, el oído o el ojo humano no perciben tal distorsión en una señal de audio y video, y la toman como aceptable o tal vez hasta como excelente.

Para esto se han establecido normas y recomendaciones internacionales, después de haber hecho múltiples pruebas, con esto, se comprobó que si el cociente de la potencia de la señal deseada dividida entre la potencia de ruido era mayor que cierto estándar, entonces el sistema funcionaba bien. A este cociente se le llama **relación señal a ruido**, y se le denomina **S/N**, y es la medida de la calidad de la señal recibida. Para cada señal existe un estándar S/N.

La relación señal a ruido es la medida de calidad para enlaces analógicos; en una transmisión digital, dicha relación no se utiliza, sino que se emplea la **probabilidad de error**. La señal digital está compuesta por una secuencia de bits, es decir, por una secuencia de unos y ceros; el ruido al añadirseles a ellos en diferentes etapas del enlace ocasiona que algunos unos y ceros se interpreten mal en el receptor, es decir, que a veces este se equivoque e interprete a un uno como un cero y viceversa. Cuantos mas errores cometa el aparato por efecto de la superposición del ruido, mas difícil es la reconstrucción de la señal a su forma original, y en consecuencia, la calidad del servicio se degrada. La proporción de bits que sean interpretados erróneamente por el demodulador digital, en relación con la secuencia correcta que tenía la señal original, es la medida de la calidad del enlace y se le conoce como probabilidad de error.

Para diferenciar los cocientes de la potencia de la señal entre el ruido, tanto a la entrada como a la salida, se utiliza la notación **C/N** a la entrada, y **S/N** a la salida; C es la potencia de la señal todavía en forma modulada y N es la potencia del ruido distribuido en todo el ancho de banda de la señal modulada. El cociente C/N se denomina como **relación portadora ruido**.

ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA

El tipo de servicio que una estación terrena presta determina la complejidad y confiabilidad necesarias de un sistema de alimentación de energía. En el caso de una estación terrena casera de recepción de televisión, no tendría mayor trascendencia que se fuese la luz durante 5 minutos o una hora en la zona residencial que se encuentre, cuando mucho, el propietario perdería el buen humor y además, tal vez ni tenga encendido el televisor en ese momento del corte de energía. En cambio, no sería bien visto que por falta de luz durante algunos minutos no fuese posible la transmisión de importantes paquetes de información digital entre centros de cómputo u oficinas administrativas, que no se pudiesen realizar llamadas telefónicas de larga distancia a ciertas poblaciones, o que no se pudiesen difundir programas de televisión; además, si los cortes de energía eléctrica ocurriesen con frecuencia durante todo el año, la situación so sería nada

atractiva para el responsable de brindar estos servicios. Por tal razón muchas estaciones transmisoras y receptoras deben contar con un propio **sistema de energía ininterrumpida**.

Según lo anterior, las estaciones mas importantes de una red de comunicaciones vía satélite, cuentan con su propia subestacion eléctrica. En condiciones normales las estaciones obtienen energía directamente del sistema general de distribución comercial, y la subestacion regula los niveles de voltaje y corriente, para que no se presenten variaciones muy significativas, y alimentar a los equipos eléctricos y electrónicos.

