



T

TK5104

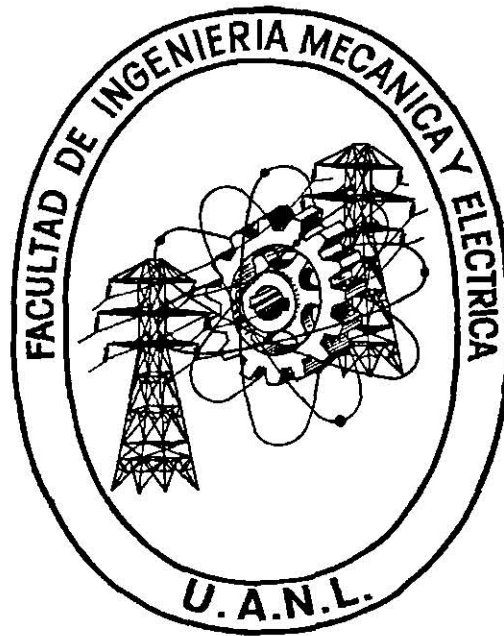
V4

C.1



1080072226

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



“COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE”

CURSO CON OPCIÓN A TÍTULO

DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

QUE PRESENTA

JUAN ENRIQUE VELÁZQUEZ MEDELLÍN

ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR

San Nicolás de las Garza, N.L.

T
TKS104
V4



ÍNDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1.

LANZAMIENTO Y COLORACIÓN EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA.

1.1. El Cinturón de Clarke.	1
1.2. Cómo Llegar a la órbita Geoestacionaria.	2
1.2.1. Inyección Directa en órbita geoestacionaria.	2
1.2.2. Inyección Inicial en órbita elíptica.	3
1.2.3. Inyección Inicial en órbita circular baja.	3
1.3. Rescate de Satélite.	4

CAPITULO 2.

EL SATÉLITE Y EL MEDIO AMBIENTE DEL ESPACIO.

2.1. El satélite y su nuevo hogar.	5
2.2. Las fuerzas perturbadoras.	7
2.3. La temperatura del satélite.	9
2.4. Otros factores de perturbación.	10

CAPITULO 3.

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE.

3.1. Introducción.	11
3.2. Subsistema de antenas.	11
3.3. Subsistema de comunicaciones.	14
3.3.1. Conceptos generales.	14
3.3.2. Acceso Múltiple por División en Frecuencia (F.D.M.A.)	23
3.3.3. Acceso Múltiple por División en el Tiempo (T.D.M.A.)	25
3.3.4. Acceso Múltiple por Diferenciación de Código (C.D.M.A.)	27
3.3.5. Acceso Múltiple por División en el Tiempo con Conmutación en el Satélite (SS/T.D.M.A.)	27
3.3.6. Frecuencias asignadas y reutilización de frecuencias.	28
3.4. Subsistema de energía eléctrica.	30
3.5. Subsistema de control térmico.	33
3.6. Subsistema de posición y orientación.	34
3.7. Subsistema de propulsión.	36
3.8. Subsistema de rastreo, telemetría y comando.	36
3.9. Subsistema estructural.	37

CAPITULO 4.
TIPO DE SATÉLITES Y SERVICIO DE COMUNICACIONES.

4.1. Servicio fijo.	38
4.2. Servicio móvil.	39
4.3. Tipos de satélites.	39
4.4. Relación de satélites.	40

CAPITULO 5.
ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACIÓN TERRENA.

5.1. Introducción.	48
5.2. La antena.	48
5.2.1. Configuraciones geométricas y su funcionamiento.	48
5.2.2. Orientación en elevación y azimut.	50
5.2.3. Tipos de montaje.	50
5.3. Rastreo del satélite.	52
5.4. El Transmisor.	52
5.5. El Receptor.	53
5.5.1. Generalidades.	53
5.5.2. El Amplificador de bajo ruido.	54
5.6. Alimentación de Energía.	55

Bibliografía

INTRODUCCIÓN

Uno de los resultados más fascinantes y notables obtenidos a partir de los programas espaciales es la tecnología de los satélites espaciales. La llegada de estos aparatos electrónicos complejos ha modificado visiblemente la forma de vida de la mayor parte de la población del mundo, y quizá de toda ella aunque sea en forma indirecta. Gracias a ellos conocemos con más precisión los recursos naturales de la Tierra y los fenómenos meteorológicos, las distancias entre las ciudades y los países se han acortado y ahora pueden intercambiar todo tipo de información casi instantáneamente, y más allá de las capas atmosféricas podemos observar y comprender mejor el universo.

Todos los satélites artificiales funcionan bajo el mismo principio y constan de varias partes comunes, independientemente de su objetivo en órbita alrededor de la Tierra. Todos necesitan una buena cantidad de celdas solares para alimentarse de energía, antenas para transmitir su información a ciertos puntos del planeta y también para poder recibir instrucciones o cualquier otro tipo de señales desde ellos, así como medios de propulsión para corregir su órbita u orientación con respecto a la Tierra.

Los satélites integran una gran familia, y parte de ella la constituyen los que están abocados específicamente a los servicios de comunicaciones; dentro de estos últimos, existen algunas variantes, pero los **geoestacionarios** son los más importantes y los que más se utilizan en la actualidad. Con ellos ahora es posible comunicar lugares muy lejanos o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de información que transmiten y reciben es sorprendente.

1. LANZAMIENTO Y COLOCACIÓN EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA.

1.1. *El Cinturón de Clarke*

En 1945 Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la Tierra parecería que no se moviesen, como si estuviesen colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años más tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso de otras órbitas. Además, casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo tres satélites colocados en esa órbita tan especial.

La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la Tierra, es decir, geoestacionario-. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la Tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completase una vuelta cada 24 horas, debía estar a aproximadamente 36 000 km de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3 075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra.

Fueron muchos los científicos e ingenieros que leyeron con interés las ideas de Arthur C. Clarke. Cabe mencionar que en aquel entonces todavía no se lanzaba ni siquiera el primer satélite artificial de la Tierra, ya no se diga en órbita geoestacionaria a 36 000 km de altura sobre el nivel del mar, sino aunque fuese a unos cuantos cientos de kilómetros de distancia, pero llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, y después al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del mundo, llamado SYCOM. Más tarde, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Índico), intercomunicando al mundo; era el año de 1968 y los sueños de Clarke se habían convertido en una realidad.

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

1.2. Cómo Llegar a la Órbita Geoestacionaria.

Sin las leyes de Isaac Newton que rigen la mecánica clásica, seguramente los científicos del siglo XX no hubieran podido colocar satélites alrededor de la Tierra. Gracias a él se sabe que la fuerza de atracción entre un cuerpo y la Tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que hay entre ambos y directamente proporcional al producto de sus masas; asimismo, que si a un cuerpo se le aplica una acción, entonces éste responde con una reacción igual y de sentido contrario, oponiéndose a la acción original. Estas deducciones hacen posible que el hombre actual lance al espacio vehículos de carga con satélites artificiales y que estos últimos conserven su posición orbital en el espacio una vez que han llegado ahí.

Todos los sistemas satelitales hacen uso de los principios anteriores y de muchos otros, como por ejemplo las Leyes de Kepler, que explican el movimiento de los planetas alrededor del Sol, pues los satélites se pueden interpretar en sentido figurado como si fuesen planetas y la Tierra como un Sol, aunque todo a escala mucho menor. Para llevar un satélite a esa órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

1.2.1. Inyección Directa En Órbita Geoestacionaria.

El satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que se necesite realizar esfuerzos propios. La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y sólo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una

órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta. El cohete Titán IIC de los EE.UU. es un ejemplo de lanzador que puede emplearse con este fin.

1.2.2. Inyección Inicial En Órbita Elíptica.

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

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está 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, el encendido se efectúa después de haber orientado el satélite a control remoto, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección correcta. El satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geoestacionaria.

Los lanzadores Ariane de la Agencia Espacial Europea, así como los cohetes Delta y Atlas-Centauro de EE.UU., operan bajo los principios de esta segunda técnica.

1.2.3. Inyección Inicial En Órbita Circular Baja.

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

El orbitador despegando llevando al satélite en su comportamiento de carga y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de

300 km sobre el nivel del mar. En una de las vueltas, el satélite es liberado o arrojado del comportamiento de carga, quedando 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 efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del comportamiento 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. Éste le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica, similar a la del segundo caso explicado anteriormente. 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.

En realidad, colocar un satélite en órbita geoestacionaria no es tan simple como parece ser de acuerdo con los tres métodos descritos. No solamente hay que proporcionarle cambios o incrementos de velocidad al satélite para modificar la geometría de las órbitas que formen parte del procedimiento elegido, sino que al mismo tiempo también hay que lograr pasar de un plano a otro, y todo ello haciendo el menor consumo posible de energía (combustible) para reducir los costos del lanzamiento.

1.4. Rescate de Satélites.

Considérese que por alguna razón el satélite no hubiese podido llegar a su posición final. ¿Sería posible aprovecharlo aún en esas condiciones, o al menos rescatarlo? La respuesta es afirmativa, los satélites si se pueden rescatar, pero salvo pocas excepciones hay que traerlos de regreso hasta la superficie de la Tierra, para revisarlos y volver a intentar llevarlos hasta la órbita geoestacionaria, acoplándoles motores nuevos de propulsión propia. Esta operación se llevó a cabo por primera vez; para rescatar los satélites Westar VI de EE.UU y Palapa B de Indonesia, se utilizó el orbitador de la NASA.

Es preciso recordar que los orbitadores vuelan en órbita circular baja a unos trescientos kilómetros de altura sobre el nivel del mar. ¿Cómo es posible entonces rescatar satélites que se encuentran a la deriva a miles de kilómetros de distancia? Un satélite que no haya logrado llegar a la órbita geoestacionaria, como de hecho ocurrió con el Westar VI y el Palapa B, cuyos motores de perigeo o PAM no permanecieron encendidos durante 80 segundos, sino que se apagaron mucho antes, impidiendo que el satélite alcanzase la altura final deseada.

Era preciso bajarlos de alguna manera hasta la altura en que vuelan los orbitadores, para que los astronautas pudieran salir de la nave a capturarlos y almacenarlos en el comportamiento de carga. El combustible almacenado en cada satélite, que se había previsto para operarlo durante todos sus años de vida, se utilizó a través de muchísimas maniobras, para irlos bajando poco a poco, hasta que quedaran al alcance de los orbitadores.

2. EL SATÉLITE Y EL MEDIO AMBIENTE DEL ESPACIO

2.1. El Satélite y su Nuevo Hogar

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

Hay ciertas secciones del cinturón de Clarke que son más codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico, debido a que a sus lados se encuentran los países industrializados de América del Norte y Europa. Por lo que se refiere a tráfico interno o doméstico de señales, se intuye que una de las zonas más congestionadas, por la gran demanda de servicios que allí hay, tanto en variedad como en cantidad, es la sección del arco ecuatorial comprendida por las longitudes geográficas de México, EE.UU y Canadá, así como las longitudes más cercanas a sus territorios.

Regresando al satélite recién llegado, éste no debe causar problemas de interferencia ni degradaciones en la calidad de las señales recibidas o transmitidas por él, y por lo tanto debe permanecer ahí lo más “fijo” que se pueda. Es decir, no desviarse de su trayectoria y tampoco debe cambiar la orientación de su cuerpo con respecto a la superficie terrestre.

Sin embargo, el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirando de él de un lado a otro, de tal forma que necesita ayuda para resolver todos estos contratiempos, y tener asimismo cierta flexibilidad de movimiento limitado; nunca se le puede decir “no te muevas ya”, como por arte de magia, pues las fuerzas externas se encargarán de volver a moverlo. 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.

Las dimensiones son de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio; cada lado de la caja mide muchos kilómetros. Mientras el satélite se mueva dentro de ella, no habrá ningún problema, pero hay que rastrearlo permanentemente para observar su posición y encender el subsistema de propulsión a control remoto antes de que se salga, para así regresarlo hacia el otro lado de la caja. Para realizar todas estas maniobras con precisión, se necesita contar en tierra con un centro de control espacial computarizado y que el satélite le envíe cierto tipo de información, que le

permite a los operadores y a las computadoras, hacer sus cálculos y tomar las decisiones correctas.

Cada vez que el subsistema de propulsión se activa para corregir la posición y orientación del satélite se consume combustible. ¿Qué ocurre cuando ya no hay combustible en los tanques de almacenamiento, después de varios años de haber realizado gran número de maniobras correctivas? Simplemente, ya no es posible mantener al satélite dentro de la caja imaginaria, y tampoco orientarlo correctamente hacia la superficie de la Tierra a la que le debe de dar servicio; se corre el grave riesgo de causarle interferencia a otros sistemas, además de otros problemas operativos en tierra, y la única solución es apagar el satélite. Su vida útil, depende en gran medida de la eficiencia con la que los operadores en tierra administren el combustible contenido en los tanques de almacenamiento del satélite.

2.2. Las Fuerzas Perturbadoras.

¿Cuáles son las fuerzas que causan tantos problemas para conservar al satélite fijo en su posición geostacionaria? La fuerza que más le afecta es el campo gravitacional de la Tierra. Este campo no es esféricamente uniforme, pues la distribución de la masa del planeta no es homogénea, o sea que la intensidad del campo gravitacional no es exactamente igual sobre un punto en el sur del océano Pacífico que sobre un punto en el continente africano, aún cuando ambos puntos de medición estén a la misma altura sobre el nivel del mar. La Tierra no es una esfera perfecta, sino que está achatada en sus polos, y el círculo ecuatorial no es en realidad un círculo, sino una elipse, aunque de muy poca excentricidad; el eje mayor de éste es de 150 metros más largo que el eje menor.

La no uniformidad del campo gravitacional de la Tierra, combinada con el hecho de que la estructura del satélite tampoco tiene una más homogénea, puesto que sus componentes están fabricadas con una diversidad de materiales, produce un par gravitacional. Este par o fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita; dicho cambio provoca a su vez

que el satélite cambie de posición en longitud, es decir que se mueva a la derecha o a la izquierda (oeste o este) sobre el arco geoestacionario, dentro de la caja imaginaria.

El campo gravitacional de la Tierra es la fuerza de mayor influencia sobre la posición y orientación del satélite, debido al gran tamaño que tiene el planeta y a la relativa cercanía del satélite al mismo, pero la Luna también ejerce una ligera fuerza gravitacional perturbadora. Como esta última es mucho más pequeña que la Tierra y además se encuentra diez veces más lejos del satélite que éste de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo, al igual que en el caso de la fuerza gravitacional perturbadora del Sol. La combinación de estas fuerzas produce un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial, es decir, hacia arriba o hacia abajo (norte o sur) dentro de la caja imaginaria; esto origina una inclinación de su plano orbital de operación con respecto al plano ecuatorial en el que idóneamente debería permanecer. Tal inclinación indeseable entre ambos planos es del orden de 1° por año, medido hacia el plano de la eclíptica:

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura. Esta fuerza acelera al satélite, y su efecto es mayor en satélites que tienen sus arreglos solares montados sobre paneles desplegados o extensibles que sobre satélites de configuración cilíndrica; el principal efecto de esta fuerza es cambiar la excentricidad de la órbita del satélite, y como la resultante no incide precisamente sobre su centro de masa, al mismo tiempo se produce un giro, que cambia su orientación con respecto a la superficie del planeta.

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

El satélite también genera otras fuerzas perturbadoras. El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite. La misma radiación radioeléctrica de las antenas del satélite produce una presión, cuando la potencia de transmisión del satélite es alta y está concentrada en un haz de iluminación muy angosto. Esta fuerza origina un giro del satélite, y para reducir al máximo su efecto sobre él, se debe diseñar con antenas colocadas simétricamente con respecto a su centro de masa.

El nuevo hogar del satélite es muy inestable, y por ello su subsistema de propulsión es sumamente importante para poder mantenerlo dentro de la habitación que le corresponde en el espacio, es decir dentro de su caja imaginaria.

2.3. La Temperatura del Satélite.

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

La principal fuente de radiación externa es el Sol. Por un lado, el sol permite generar electricidad para que el satélite funcione, pero por otro complica el diseño del mismo. En el interior del satélite, la transferencia de calor se lleva a cabo por conducción y en el espacio por radiación, puesto que el medio ambiente de casi vacío excluye la posibilidad de que en este último se pueda transferir por convección la contribución térmica de la Tierra, ésta

consiste en radiación infrarroja emitida por ella misma y de la reflexión de los rayos solares sobre su superficie denominada albedo.

Cuando ocurre un eclipse, el satélite no solamente se enfría muchísimo al interponerse la Tierra entre él y el Sol, sino que además no puede transformar energía solar en electricidad; necesita obtener su energía de alguna otra fuente para seguir funcionando. Esta fuente de respaldo está constituida por varias baterías que forman parte del satélite, y gracias a ellas el servicio no se interrumpe durante un eclipse o la noche terrestre.

2.4. Otros Factores de Perturbación.

La radiación ultravioleta del Sol causa que los materiales del Satélite se ionicen; esto produce un aumento en la conductividad de los aisladores y cambios en las características de emisión y absorción de calor de los materiales protectores. La misma radiación degrada poco a poco la eficiencia de las celdas solares. El medio ambiente de casi vacío ocasiona que los metales y los semiconductores se sublimen y tiendan a evaporarse. Hay otros efectos que pueden resultar más dañinos, como es la posibilidad de que se condensen gases en superficies frías y produzcan un cortocircuito en materiales aislantes.

Las partículas cósmicas que inciden sobre el satélite ocasionan que sus plásticos se ionicen y que la eficiencia de sus celdas solares se degrade aún más; por si fuera poco, también pueden modificar el acabado de las superficies diseñadas para controlar su balance térmico. Este efecto podría resultar desastroso para la supervivencia del satélite, y por ello su estructura debe tener la rigidez suficiente y capacidad de amortiguamiento para resistir impactos de poca intensidad.

Lo que si es cierto es que diseñar un sistema de comunicaciones por satélite es una verdadera obra de arte tecnológica, en la que intervienen cuando menos las ramas de la astronomía, mecánica, electricidad y electrónica, computación, comunicaciones, ciencia de materiales, química e ingeniería civil.

3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE.

3.1. Introducción.

Un Satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto; sus subsistemas más importantes se indican en la tabla:

Principales subsistemas de un satélite y sus funciones.

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

3.2. Subsistema de Antenas.

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras y después de que son procesadas en el satélite, las transmiten de regreso hacia la Tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas de las que transmiten, pero también es posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación

diferentes. Los elementos de alimentación, denominados alimentadores, son generalmente antenas de cometa conectadas a guías de onda que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores.

Es fácil comprender que si el subsistema de antenas tuviese alguna falla, por ejemplo, si no estuviese bien orientado hacia la superficie de la Tierra debido a algún desperfecto en su mecanismo, entonces no sería factible transmitir correctamente desde el satélite ni recibir las señales provenientes de las estaciones terrenas.

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

Cuanto más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía; ésta es una característica propia de las antenas parabólicas y, en general, de todas las antenas llamadas “de apertura”, cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto es función directa de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

La dimensión eléctrica de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación, o sea, es el número de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca. Cuanto más alta es la frecuencia, la longitud de la onda electromagnética es más corta y el tamaño eléctrico de la antena aumenta.

Hay satélites que tienen varias antenas de características distintas, con finalidades diferentes. Por ejemplo, el satélite de comunicaciones internacionales Intelsat tiene ocho antenas para poder cubrir una vasta extensión territorial e intercomunicarla eficientemente al menor costo posible. De estas ocho antenas, dos son globales, dos hemisféricas, dos de zona y dos puntuales. Las primeras dos son antenas de corneta y cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre que puede verse desde la posición del satélite. Las otras seis antenas sí son parabólicas y la extensión territorial que cubren es aquella dentro de los contornos.

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

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

3.3 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

3.3.1. *Conceptos Generales.*

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

El diagrama muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. En él solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones. 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.

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

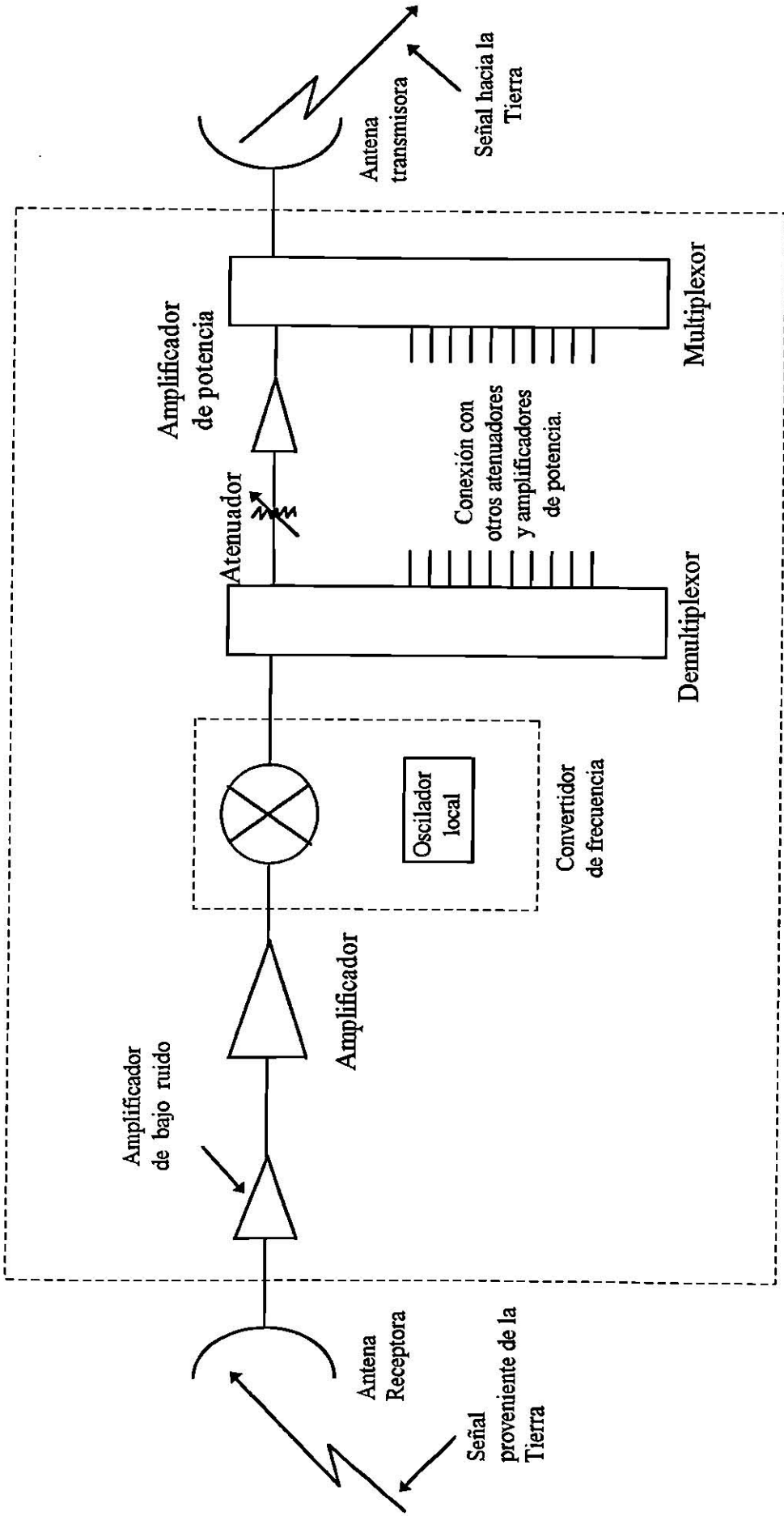


FIGURA 1
Relación entre los subsistemas de antenas y comunicaciones.

Este subsistema, incluyendo el de las antenas, es el de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidad es planificar el uso del satélite, es decir, asignar las trayectorias o transpondedores en los que deben de ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia, así como el espacio que deban ocupar dentro de cada amplificador.

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 más baja y la más 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, éste será más 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 en distintos transpondedores, las antenas receptoras, y lo mismo se aplica a las antenas transmisoras, tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte 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 puede 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. Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 y 4.2 GHz; todas

las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la Tierra. Un enlace de este tipo se representa con la nomenclatura 6/4 GHz. En la banda Ku, el proceso de recepción conversión de frecuencias y transmisión es similar al de la banda C, sólo 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. Es fácil intuir que estos satélites, por el hecho de duplicar su capacidad de trabajo, requieren más energía eléctrica, y en consecuencia necesitan más metros cuadrados de celdas solares para efectuar la conversión suficiente de energía solar en electricidad.

¿Cómo se numeran los transpondedores? Recuérdese que el ancho de banda de un satélite usual es de 500 MHz en total. Cuando un canal de televisión se transmite por satélite, al modularlo con frecuencia ocupa normalmente sólo 36 de los 500 MHz disponibles, y técnicamente esa ocupación puede hacerse en cualquier parte dentro de ese rango. Por conveniencia, el ancho de banda de 500 MHz se divide en espacios o ranuras, cuyo número depende de la aplicación del satélite.

Los espacios libres entre ranuras adyacentes se dejan para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada una contiene. Cada ranura puede trabajar con un canal de televisión independientemente. También sería posible que en cada ranura cupiesen 2 canales de televisión o cientos de canales telefónicos y de datos.

El primer dispositivo electrónico importante que encuentran las señales recibidas por la antena es un **amplificador de bajo ruido**, con poca potencia de salida; este aparato genera internamente muy poco ruido, que se suma a las señales originales que entran a él

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

El amplificador de bajo ruido tiene un ancho de banda muy grande, de 500 MHz, pues debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena, antes de que se proceda a separarlas entre sí, por medio de filtros, para realizar las siguientes etapas del proceso que se lleva a cabo en el subsistema de comunicaciones. Es un dispositivo clave, de cuyo correcto funcionamiento depende que la información siga fluyendo o no dentro del satélite, y por lo tanto se debe contar con un duplicado; es decir, el amplificador de bajo ruido es un equipo redundante, de tal forma que si uno de los amplificadores se descompone, mediante un conmutador se transfiere el enlace al otro que si esté en buenas condiciones. Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente, puesto que muy poca potencia de ruido se les ha sumado, continuarán su viaje a lo largo de la trayectoria del transpondedor; en las etapas siguientes de amplificación se les seguirá introduciendo un poco más de ruido, pero su efecto ya no será tan problemático como hubiese podido serlo en la primera etapa de amplificación, porque ahora están vigorizadas con un nivel de potencia tal que las hace menos vulnerables.

Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como convertidor de frecuencia, que no es más que un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las que entraron, por lo que respecta a su contenido, pero han sido desplazadas a

frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico. Después de amplificar y cambiar la frecuencia de las señales, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques; cada grupo puede contener un solo canal de televisión o dos, cientos de canales telefónicos, un paquete de información digital de alta velocidad, o alguna otra variante. La separación se realiza con un demultiplexor como el 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 en bloques de 36 MHz cada uno. A continuación, cada bloque pasa por una etapa muy frecuente 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 demultiplexor hay un **atenuador** o resistencia variable; ésta sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia, o a la primera etapa de amplificación si es que hay más de una. La regulación de la intensidad de entrada permite operar al amplificador de potencia en distintas condiciones o puntos de trabajos, es decir, se puede controlar la cantidad de potencia que salga de él.

Cuando los amplificadores de potencia del satélite entregan a su salida el máximo de potencia posible, se dice que están operando por su punto de saturación; para que esto ocurra, la potencia total de las señales que entran a ellos debe tener un valor determinado.

Por otra parte, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mejores resultados en la primera etapa de amplificación (amplificador de bajo ruido), ya que la relación entre la potencia de la señal amplificada y la potencia del ruido térmico generado internamente es mayor, y como la calidad con la que finalmente la señal se recupera en la Tierra depende, entre otros parámetros, de esta relación de potencias, se obtiene entonces una mejor fidelidad. Sin embargo, el alto nivel de las señales amplificadas en esta primera etapa, que se convierte en la entrada a los amplificadores de potencia, en

general puede ser demasiado; en estas circunstancias, conviene reducir el nivel de las señales con un atenuador variable compuesto por varios atenuadores fijos en serie antes de alimentar a cada amplificador de potencia. Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada **portadora**.

Las señales indeseables se denominan en conjunto **ruido de intermodulación**, y su intensidad es cada vez mayor, y más dañina, conforme se trata de obtener más y más potencia a la salida del amplificador, hasta llegar 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 menos o más potencia a la entrada del amplificador, para que a su vez salga de él menos o más amplificación de potencia, con un nivel aceptable de ruido de intermodulación.

Siempre que haya más de una portadora presente al mismo tiempo en el amplificador de potencia, se produce ruido de intermodulación y cuanto mayor sea su número, mayor es el ruido y su efecto sobre la información original; por lo tanto, mientras más portadoras se requieran amplificar con el mismo dispositivo al mismo tiempo, será preciso operar en un punto cada vez más bajo del de saturación, y será menor la cantidad de potencia que se pueda aprovechar a la salida.

El diagrama de bloques de la figura 1 es muy básico, y puede haber distintas versiones, con ligeras modificaciones como las que se muestran en la figura 2. En ella se observa que ya no hay solamente un demultiplexor y un multiplexor, sino dos de cada uno, con una capacidad igual a la mitad de la que tienen los de la figura 1. La potencia de la señal combinada de 500 MHz de ancho de banda que sale del convertidor de frecuencias se dividen en dos y cada parte resultante entra a uno de los demultiplexores; por medio de filtros, el demultiplexor 1 sólo permite el paso a los canales impares, el demultiplexor 2 hace lo mismo con los canales pares; cada uno de estos canales impares o pares tienen 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.

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

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 el tiempo, y por diferenciación de código; de éstos, el primero es el más común en la actualidad y se describe a continuación.

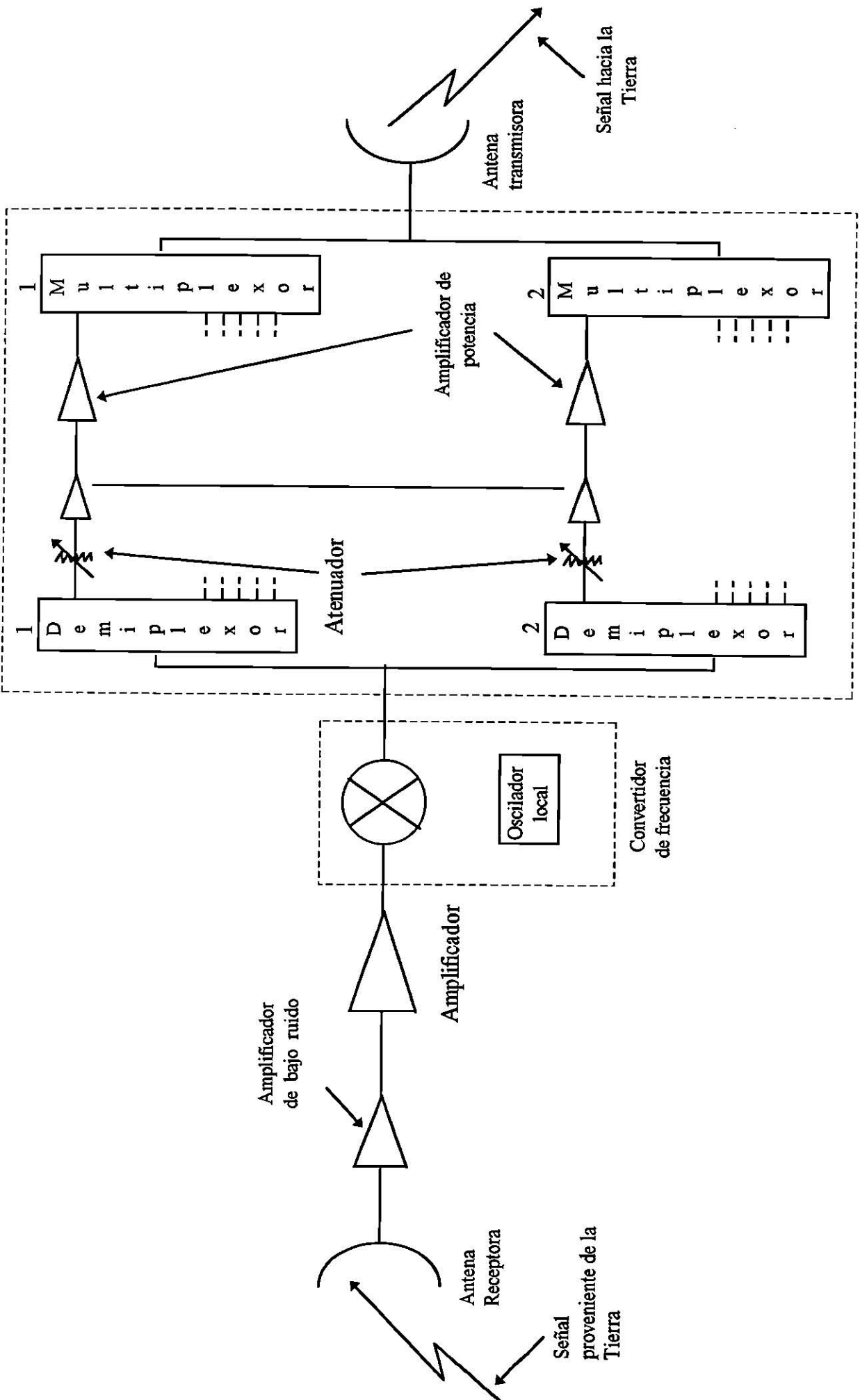


FIGURA 2
 Versión modificada del diagrama equipos del subsistema de comunicaciones. Se utilizan dos demultiplexores y dos multiplexores para procesar los canales pares e impares y reducir la interferencia.

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

Si la suma de los anchos de banda que requieren las estaciones individualmente da un total cercano a los 36 MHz, entonces 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, recibe 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 ocupará 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**. Es claro que su utilización radica principalmente en sistemas comerciales de alta capacidad.

¿Qué 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 en que alguna deja de transmitir, esa ranura se libera y queda disponible para cualquiera otra de las estaciones del sistema que la solicite temporalmente. Cuando minutos u horas después, la estación terrena que liberó una ranura quiera transmitir más información, podría darse el caso de que la ranura de frecuencias que usó previamente dentro del amplificador esté ocupada en ese instante por la señal de otra estación; pero puede haber otras ranuras vacías en ese momento, y de ser éste 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.

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

Existen muchos sistemas funcionando en la actualidad con asignación por demanda; uno de ellos es el denominado SPADE , usado por INTELSAT para darle servicio telefónico a los países que tienen poco tráfico entre sí, pero que por supuesto necesitan comunicarse ocasionalmente.

Como en el sistema SPADE cada ranura tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un solo canal telefónico modulado, esta forma de

transmisión se llama canal único por portadora o SCPC , y aún cuando en este caso la asignación es por demanda es fácil comprender que también puede haber otros sistemas domésticos o internacionales con SCPC, pero de asignación fija, asimismo e independientemente de que si tenga asignación fija o por demanda, un canal SCPC no necesariamente debe conducir telefonía analógica, sino que puede contener un canal telefónico digitalizado o un canal de datos de baja velocidad transmitido con modulación digital, de la cual hay varias opciones utilizadas a la vez en la práctica.

3.3.3 Acceso Múltiple Por División En El Tiempo

El acceso múltiple por división en el tiempo o TDMA es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de él. A diferencia de acceso múltiple por división de frecuencia, en donde cada estación transmisora tiene asignada una ranura de frecuencias dentro del transpondedor, normalmente con un ancho de banda diferente, en esta nueva técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, con cierto ancho de banda fijo, y se comparten 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 más tráfico que otras y , por lo tanto, la ranura de tiempo que se les asignan debe ser más larga que la de las estaciones chicas. Estos tiempos asignados pueden ser fijos por estación, en cuyo caso se tiene acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija, o bien pueden variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exceso de tráfico. En estas condiciones, es preciso reorganizar la distribución de los tiempos con una nueva estructura de marco o trama de transmisión, dándole ranuras de tiempo más largas a las estaciones con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de poco tráfico; la nueva estructura de marco se repite secuencialmente hasta

que halla necesidad de hacer otro cambio. Hay varios métodos para cambiar los marcos de transmisión según la demanda, pero la más común es mediante un programa establecido con base en las estadísticas de tráfico.

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

La modalidad de TDMA que se utiliza más en la práctica es la de ocupación del transpondedor completo por la portadora modulada; como solo hay una portadora presente en cada instante dentro del amplificador de potencia de transpondedor, no hay ruidos de intermodulación y se puede aprovechar al máximo la potencia de salida, beneficiándose de esta forma todas las estaciones terrenas que la utilizan. En varias situaciones, el tráfico manejado por una red de estaciones no es tan grande como para justificar la ocupación total de un transpondedor, sino solamente una fracción de él; en estos casos se comparte el ancho de banda del transpondedor en FDMA con los servicios prestados en otras estaciones independientes de la red TDMA, por ejemplo, video y telefonía SCPC, sin perder la flexibilidad que brinda el sistema TDMA totalmente digitalizado.

La técnica TDMA, al igual que la FDMA, no es más que una forma mediante la cual las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de él. Independientemente del tipo de acceso que se utilice, es necesario que los canales de video, voz y datos que se van a

transmitir pasen por varias etapas de procesamiento a partir de su estado de banda base (como son en su forma original), principalmente las etapas de multiplexaje y modulación, de las cuales hay una gran diversidad.

3.3.4 Acceso Múltiple Por Diferenciación De Código

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

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

3.3.5 Acceso Múltiple Por División En El Tiempo Con Conmutación En El Satélite.

Los satélites más modernos se están construyendo con varias antenas de haz pincel, diseñadas para cubrir diferentes zonas geográficas con muy alta densidad de potencia; cada haz está asociado con ciertos receptores y transmisores y es posible conmutar parte de la información -o toda- de un haz a otro mediante una matriz de microondas. Este versátil y novedoso sistema es digital, con acceso múltiple TDMA; se denomina **acceso múltiple por**

división en el tiempo con conmutación en el satélite o SS/TDMA. Los satélites Intelsat VI e Italsat, entre otros, utilizarán esta técnica moderna de SS/TDMA, la cual incrementa significativamente la eficiencia de un sistema, puesto que se logra la cobertura total de un gran territorio dividido en zonas con haces de potencia altamente concentrada, en vez de hacerlo con un solo haz común de baja densidad de potencia por unidad de área.

3.3.6 Frecuencias Asignadas y Reutilización de Frecuencias.

La capacidad de tráfico de un satélite está limitada por dos factores; ancho de banda y potencia de los amplificadores. Por lo que respecta al ancho de banda, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha asignado para el servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku y Ka, con frecuencias centrales aproximadas de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4 GHz, 8/7 GHz, 14/11 o 14/12 GHz, y 30/20 GHz, respectivamente; dependiendo de la región, hay variaciones entre los límites inferior y superior de cada una de estas bandas. Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente en la actualidad, y hasta hace poco había sólo 500 MHz de ancho de banda asignados en cada una de ellas, por lo que la mayor parte de los satélites que las utilizan operan con esa cantidad; sin embargo, ya se han 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 su etapa de experimentación, pero pronto se lanzarán los primeros satélites comerciales que la aprovechen, entre ellos el Italsat; esta banda tiene un ancho muy atractivo de 3500 MHz, pero su principal desventaja es que cuando llueve los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en las bandas C y Ku.

Tabla Resumen de las frecuencias asignadas a cada banda. *

	Banda	Enlace ascendente (GHz)	Enlace descendente (GHz)
C:	6/4 GHz	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 MHz)
		5.850 - 7.075 (1225 MHz)	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800 (1100 MHz)
X:	8/7 GHz	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)
Ku:	14/11 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	10.950 - 11.200 11.450 - 11.700 (500 MHz)
		12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1000 MHz)	10.700 - 11.700 (1000 MHz)
	14/12 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
Ka:	30/20 GHz	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3500 MHz)

* El ancho de la banda se muestra entre paréntesis.

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

La reutilización de frecuencias con discriminación de polarización se efectúa mediante la transmisión simultánea en un mismo haz, a la misma frecuencia, con señales de polarización ortogonales; éstas pueden ser lineales (horizontal y vertical) o circulares

(derecha e izquierda). Muchos satélites comerciales operan con este tipo de reutilización de frecuencias, por ejemplo los Intelsat, Morelos y Spacenet.

3.4 Subsistema de Energía Eléctrica

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

Una gran desventaja que actualmente tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo. En un principio era del orden del 8%; ahora se utilizan celdas con una tecnología mejor, que brindan factores de eficiencia del 10 al 12%, pues también aprovechan gran parte de la energía radiada por el Sol en la región ultravioleta de su espectro. Aun así, esta eficiencia sigue siendo muy baja, y es probable que en los próximos años el silicio con el que están hechas las celdas de hoy sea sustituido por arseniuro de galio, ya que experimentalmente se ha demostrado que este último material ofrece una eficiencia de aproximadamente 18%.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares; cuanto más baja sea ésta, mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas.

Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiaciones, que año tras año van disminuyendo su eficiencia aún más; después de unos 7 años de operación, la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a la eficiencia original, aún cuando llevan una cubierta de protección hecha de sílice fundido.

La intensidad de la radiación solar sobre las celdas del satélite no es constante, puesto que éste se acerca o aleja del Sol junto con la Tierra al desplazarse alrededor de él, completando una vuelta en un año; cuando el satélite y la Tierra se acercan al Sol, la intensidad de la radiación solar sobre las celdas aumenta.

En resumen, ambos efectos -la distancia del satélite al Sol y el movimiento aparente del Sol con respecto al satélite- ocasionan que en diferentes épocas del año se tenga más o menos energía eléctrica disponible, siendo máxima durante los equinoccios y mínima en los solsticios.

Los satélites estabilizados por giro son cilíndricos y llevan las celdas solares montadas sobre la mayor parte de su superficie, envolviendo casi totalmente su perímetro. En cambio, los satélites con cuerpo fijo y estabilización triaxial no tienen una geometría cilíndrica, sino que se asemejan a un cubo o caja, y normalmente emergen dos largos y planos paneles solares de sus costados, en forma de alas.

En el caso de los satélites estabilizados por giro o rotación, no todas las celdas solares están expuestas al Sol en todo momento, y solamente se aprovecha una parte de ellas para efectuar la conversión a electricidad; de hecho, el porcentaje aprovechado en cada instante es de aproximadamente un tercio, a consecuencia de la parte oculta al Sol y la pared curva del cuerpo cilíndrico del satélite sobre el cual están montadas las celdas. Por lo que respecta a los satélites de cuerpo fijo con estabilización triaxial, en su interior hay volantes inerciales que actúan como giróscopos y que mantienen estable al satélite sin necesidad de que éste gire. Sus paneles solares cuentan con un mecanismo para orientarse constante y

óptimamente hacia los rayos del Sol; esto permite aprovechar al máximo las celdas, y todas al mismo tiempo, ya que la eficiencia de conversión es función del ángulo de incidencia de los rayos del Sol sobre ellas. Por tal razón los satélites con este tipo de estabilización brindan mayor capacidad de generación de energía eléctrica que la de los estabilizados por rotación, e invariablemente se opta por ellos cuando los requerimientos de potencia lo exigen; tal es el caso de los satélites de radiodifusión directa de televisión, que necesitan varios kilowatts de potencia para operar eficaz y económicamente.

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

Las baterías que más se utilizan en los satélites geoestacionarios de comunicaciones son de níquel-cadmio; su eficiencia de potencia/peso es baja, pero se prefieren porque son muy confiables y de larga duración. Algunos satélites ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores y que quizá poco a poco las irán reemplazando desde la fecha hasta el año 2 000. Hay otros tipos de baterías que aún se encuentran en la etapa de investigación, por ejemplo, de plata-hidrógeno, litio y sodio.

3.5 Subsistema de Control Térmico

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

La energía proveniente de la Tierra la integran dos tipos de radiación: la propia de ella y la del Sol reflejada por su superficie (albedo). La suma del calor generado internamente por el satélite más el producido por la absorción de energía del Sol y de la Tierra, menos el radiado por el satélite hacia el exterior, se debe mantener lo más constante posible, de tal modo que el satélite funcione íntegra y correctamente.

Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en el diseño de satélites tienen a su alcance gran variedad de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato. Por ejemplo, una sección del satélite va cubierta con un reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo, que rechaza el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior al vacío; los dispositivos electrónicos que generan más calor -como amplificadores de potencia- se colocan junto a él. Los módulos del interior, así como el subsistema de antenas que va en el exterior, van cubiertos con algún tipo de material plástico aislante que los protege del calor o de los cambios bruscos de temperatura; las antenas parabólicas van cubiertas con kapton, las antenas de corneta con mylar y kapton aluminizados, y algunos equipos internos con kapton, mylar y kevlar.

Los colores también juegan un papel muy importante en el acabado de las partes del satélite, dependiendo del lugar que cada una de ellas ocupe en la estructura, al igual que las propiedades de absorción y emisión de los materiales.

Es así como, mediante la combinación de materiales y colores, y con el auxilio de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva dentro de un nivel aceptable de temperatura durante la mayor parte del tiempo. El equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse.

Para tal efecto se utilizan caloductos que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Los caloductos operan bajo el principio de la evaporación y condensación sucesivas de algún fluido en los extremos de un ducto.

3.6 Subsistema de Posición y Orientación

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la Tierra y retransmitirlas hacia otra a través de su subsistema de antenas direccionales, deben estar permanentemente orientadas hacia la zona geográfica de servicio, lo cual se obtiene mediante técnicas de estabilización por giro o de estabilización triaxial; la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite gira para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la Tierra.

La unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción. El satélite al girar sobre su eje, se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadores.

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 superficie terrestre.

Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en qué dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra. La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que éste retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las fases de la señal transmitida y la recibida es un indicador de lo lejos que se encuentra. La medición del ángulo o la dirección en la que se halla se puede hacer por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas. La técnica de máxima recepción es otra alternativa para medir el ángulo, opera bajo el principio de orientar la antena hacia el satélite e ir la moviendo poco a poco hasta que se detecte el nivel máximo de radiación; y por lo tanto se puede conocer la dirección o ángulo en que éste se encuentra.

La determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre, se puede utilizar una variedad de sensores, 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. Los sensores de Tierra miden la radiación infrarroja emitida por el planeta, utilizando para ello un dispositivo sensible al calor, como un bolómetro o una termopila.

Otro tipo de control utiliza sensores de radiofrecuencia, que detectan y miden las características de radiofaros o señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena; los sensores determinan con gran precisión la diferencia angular que hay entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la línea o trayectoria de las ondas de radio del radiofaro o haz piloto.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos, calcular a continuación las correcciones que deben hacerse para reducir esos errores o diferencias, y finalmente llevarlas a cabo mediante la operación de algún actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite; los actuadores más

comunes, y que proporcionan niveles importantes en la magnitud de los pares necesarios de corrección, son los propulsores.

3.7 Sistema de Propulsión

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

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. El impulso específico se puede definir como el empuje aplicado o producido por cada unidad de peso del propelente que se consume 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.

En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, éstos funcionan según el principio de generar un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético, pero aún se encuentran en su etapa de pruebas y desarrollo.

3.8 Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de

prueba, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperaturas. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital que el satélite transmite hacia la Tierra con una velocidad baja, entre 200 y 1000 bits por segundo, y esta información permite conocer el estado de operación del sistema satelital, apoyada por la información de rastreo.

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

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. Estas señales de comando van codificadas, por cuestiones obvias de seguridad.

3.9 Subsistema Estructural

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

La estructura del satélite como cada una de las demás partes que lo componen deben diseñarse para que soporten estas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida. El diseñador tiene a su alcance una diversidad de materiales para fabricar la estructura. Los materiales más comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero, y varios plásticos reforzados con fibra de carbón. Dependiendo del diseño, 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 abeja” (honeycomb) de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

4. TIPOS DE SATELITES Y SERVICIOS DE COMUNICACIONES.

4.1 Servicio Fijo

Los servicios que se pueden prestar con los satélites geoestacionarios de comunicaciones se dividen en dos grandes grupos: fijo y móvil. Una red de comunicaciones de **servicio fijo**, consiste en uno o varios satélites y las estaciones terrenas que se intercomunican a través de ellos, con la particularidad de que las estaciones siempre permanecen en el mismo punto geográfico donde se hayan instalado inicialmente, es decir, son fijas. Lo anterior no significa que las estaciones no puedan tener cierta flexibilidad en su movimiento, puesto que en ciertas ocasiones se necesita reorientarlas para mejorar la calidad de recepción o para cambiar de satélite, y a pesar del movimiento de giro que la antena tenga temporalmente, la estación siempre permanece fija en el piso. Un caso muy particular es el de las unidades llamadas “móviles”, que consisten en un plato parabólico, el equipo electrónico necesario de transmisión y recepción, y una planta propia de energía eléctrica, montados en una camioneta o camión, estas unidades móviles son especialmente útiles cuando se desea ofrecer un servicio temporalmente, o cubrir algún acontecimiento de corta duración que se desarrolle en un lugar carente de instalaciones propias de transmisión o recepción. Una vez que las unidades móviles son trasladadas a los puntos donde van a estar transmitiendo y recibiendo, y después de que sus platos parabólicos son orientados hacia el satélite correspondiente, permanecen operando en modo fijo, quedan incluidas dentro del servicio fijo de comunicaciones vía satélite.

La mayor parte de las estaciones terrenas que existen en el mundo operan en la modalidad de servicio fijo, sin importar si la red de comunicaciones a la que pertenecen es nacional (doméstica) o internacional. El servicio fijo abarca la transmisión y recepción de televisión, radio, telefonía y datos; los satélites Anik D1 de Canadá, Morelos 1 de México, Intelsat, y el TDF-1 de teledifusión directa de Francia, son sólo algunos ejemplos de los muchos que prestan esta clase de servicio.

4.2 Servicio Móvil

Muchos usuarios que requieren comunicarse por satélite tienen la característica de que sus equipos no permanecen fijos, sino que se mueven o cambian de lugar constantemente, por ejemplo, en barcos, plataformas marinas, aviones, trenes, camiones de carga y automóviles. Las redes de comunicaciones que satisfacen esta demanda pertenecen a la rama del servicio móvil vía satélite.

En cualquiera de los casos, el equipo de comunicaciones del vehículo debe tener una antena capaz de permanecer en contacto con el satélite geostacionario, independientemente de su movimiento. Dependiendo del tipo de vehículo, de sus dimensiones y de la cantidad y diversidad de información que transmita o reciba, requiere tener una clase diferente de antena y equipo electrónico.

Las redes de comunicaciones móviles por satélite surgieron años después de las de servicio fijo y la mayor parte aún se encuentra en su etapa de diseño o construcción. El servicio todavía no pertenece a una industria tan firme y lucrativa como la del servicio fijo, pero ya es toda una realidad y tiene un gran potencial de desarrollo y utilización en el futuro.

4.3 Tipos de Satélites

En la actualidad hay gran diversidad de satélites geostacionarios orbitando la Tierra. Algunos de ellos se utilizan para el servicio móvil de comunicaciones, como los Marecs y los Intelsat V (parcialmente); otros están dedicados al servicio fijo de comunicaciones, y el

número restante cumple con otros propósitos, por ejemplo, observaciones meteorológicas, vigilancia y experimentación.

No todos los satélites operan a la misma frecuencia, pero por lo que respecta a los de comunicaciones, la mayor parte funciona en las bandas C y Ku, los híbridos trabajan simultáneamente en ambas bandas, pero aún son muy pocos en comparación con los que operan con una banda exclusivamente. La tendencia actual es sustituir a los últimos en forma gradual por satélites híbridos, ya que éstos permiten duplicar el ancho de banda de transmisión y recepción, con el consecuente incremento en la cantidad de la información que se puede conducir, aunque a expensas de mayor complejidad y costo.

Algunos satélites se utilizan solamente para transmitir televisión analógica, otros para telefonía analógica o digital en su totalidad o mayor parte, y otros para el manejo exclusivo de información que contenga datos, telefonía y 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. Sus configuraciones geométricas también son muy variadas; los hay de estabilización triaxial y por giro, de potencia media o alta, de menor o mayor vida de diseño, y de coberturas geográficas muy diversas.

4.4 Relación De Satélites

En las tablas se proporciona, respectivamente, la relación actualizada a enero de 1989 de los satélites geoestacionarios de comunicaciones en bandas C y Ku, activos o en planeación; a la fecha de impresión, en varios de los casos no estaba aún definida la fecha de lanzamiento, lo cual se indica con un guión en la última columna. La mayor parte de estos satélites es exclusivamente de servicio fijo, con la excepción de algunos Intelsat V, los Insat y TDRS, que usan un porcentaje de su capacidad para comunicaciones móviles, así como los Marecs, More, Inmarsat, Intelsat MCS, Avsat, Zenon, Sat Mobile, M-Sat y Hughes MSS, que en su totalidad son o están siendo diseñados para el servicio móvil.

Tabla.- Satélites geoestacionarios de comunicaciones que operan en la banda C. Según la zona geográfica, el satélite transmite en las frecuencias indicadas.

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
F-Sat I	7°	E	Francia	--
Statsionar-18	8°	E	URSS	--
Nat-Sat 3	14°	E	Nigeria	--
AMS-1	15°	E	Israel	1990
Nat-Sat 2	16°	E	Nigeria	--
Arabsat-1A	19°	E	Liga de Países Árabes	1985
Nat-Sat 1	20°	E	Nigeria	--
Arabsat-1B	26°	E	Liga de Países Árabes	1985
Raduga-17	35°	E	URSS	1985
Raduga-19	45°	E	URSS	1986
More-53	53°	E	URSS	--
Intelsat VI	57°	E	Intelsat	1989
Intelsat VA-F12	60°	E	Intelsat	1985
Intelsat V-F5	63°	E	Intelsat	1982
Intelsat VI-2	63°	E	Intelsat	--
Inmarsat-2 F3	64.5°	E	Inmarsat	1990
Intelsat V-F7	66°	E	Intelsat	1983
STW-2	70°	E	China	1986
Marisat-F2	72.5°	E	Inmarsat	1976
Insat-IB	74°	E	India	1983
Gorizont-9	75.7°	E	URSS	1984
Statsionar-13	80°	E	URSS	--
Potok-2	80°	E	URSS	--
Insat-IIA	83°	E	India	1990
Raduga-20	85°	E	URSS	1987
Chinasat-1	87.5°	E	China	--
More-90	90°	E	URSS	--
Gorizont-13	90°	E	URSS	1986
Insat-IC	93.5°	E	India	1988
Insat-IIB	93.5°	E	India	1991
Statsionar-14	95°	E	URSS	1987
Chinasat-3	98°	E	China	--
Ekrán 16 y 17	99°	E	URSS	1987
Palapa B1	108°	E	Indonesia	1983
Chinasat-2	110.5°	E	China	--
Palapa B2P	113°	E	Indonesia	1987
Palapa B3	118°	E	Indonesia	--

Tabla.- (Continuación)

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
STW-1	125°	E	China	1984
Statsionar-15	128°	E	URSS	--
Raduga-21	128°	E	URSS	1987
CS-2A	132°	E	Japón	1983
CS-2B	136°	E	Japón	1983
More-140	140°	E	URSS	--
Gorizont-14	140°	E	URSS	1987
Statsionar-16	145°	E	URSS	--
Pacstar-1	167.5°	E	Papúa-Nueva Guinea	1991
Intelsat V-F1	174°	E	Intelsat	1981
Marisat-F3	176.5°	E	Inmarsat	1976
Intelsat IVA-F3	177°	E	Intelsat	1976
Marecs A	178°	E	Inmarsat	1981
Intelsat V-F8	180°	E	Intelsat	1984
Intelsat V-F2	1°	O	Intelsat	1980
Telecom IC	3°	O	Francia	--
Telecom IB	5°	O	Francia	1985
Telecom IIA	8°	O	Francia	1991
Telecom IA	8°	O	Francia	1984
Statsionar 11	11°	O	URSS	--
Potok-1	13.5°	O	URSS	--
Gorizont-12	14°	O	URSS	1986
More-14	14°	O	URSS	--
Marisat F1	15°	O	Inmarsat	1976
Inmarsat-2 F1	15°	O	Inmarsat	1989
Intelsat V-F6	18°	O	Intelsat	1983
Intelsat IVA-F4	21.5°	O	Intelsat	1977
Avsat 1	22°	O	EE.UU./Aeron.Radio	--
Intelsat VA-F10	24.5°	O	Intelsat	1985
Raduga-18	25°	O	URSS	1986
Inmarsat-2 F2	26°	O	Inmarsat	1989
Marecs B2	26°	O	Inmarsat	1984
Statsionar-17	26.5°	O	URSS	--
Intelsat VA-F11	27.5°	O	Intelsat	1985
Intelsat V-F4	34.5°	O	Intelsat	1982
TDRS A	41°	O	EE.UU./NASA	--
PAS 1	45°	O	EE.UU./PanAmSat.	1988
Finansat 2	48°	O	EE.UU./Financial Sat.	--

Tabla.- (Continuación)

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
Intelsat V-F3	53°	O	Intelsat	1981
PAS 2	57°	O	EE.UU./PanamSat	--
Avsat 2	58°	O	EE.UU./Aeron.Radio	--
Satcom 6	62°	O	EE.UU./GE Americom	--
ASC-3	64°	O	EE.UU./American Sat	1990
ASC-4	64°	O	EE.UU./ American Sat	1992
Brasilsat-1	65°	O	Brasil	1985
Spacenet II	69°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1984
Brasilsat-2	70°	O	Brasil	1986
Satcom 2R	72°	O	EE.UU./RCA Americom	1983
Galaxy 2	74°	O	EE.UU./Hughes Com	1983
Satcol 1	75°	O	Colombia	--
Comstar D4	76°	O	EE.UU./Comsat General	1981
TDRS C	79°	O	EE.UU./NASA	1989
Nahuel A	80°	O	Argentina	--
Satcom 4	83°	O	EUA/RCA Americom	1989
STSC 1	83°	O	Cuba	--
ASC-2	83°	O	EE.UU./American Sat	1990
Nahuel B	85°	O	Argentina	--
Telstar 302	85°	O	EUA/AT&T	1984
Spacenet III	87°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1988
Cóndor	89°	O	Pacto Andino	--
Westar VI S	91°	O	EE.UU./Western Union	1988
Galaxy 3	93.5°	O	EE.UU./Hughes Com	1984
Telstar 301	96°	O	EE.UU./AT&T	1983
STSC 2	97°	O	Cuba	--
Westar IV	99°	O	EE.UU./Western Union	1982
Anik D1	104.5°	O	Canadá	1982
Anik D2	111.5°	O	Canadá	1984
Morelos 1	113.5°	O	México	1985
Avsat 3	114°	O	EE.UU./Aeron.Radio	--
Morelos 2	116.5°	O	México	1985
Spacenet I	120°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1984
Galaxy 4	122°	O	EE.UU./Hughes Com	1993
Westar V	122.5°	O	EE.UU./Western Union	1982
Telstar 303	125°	O	EE.UU./AT&T	1985
ASC1	128°	O	EE.UU./American Sat	1985

Tabla.- (Continuación)

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
Satcom 3	131°	O	EE.UU./RCA Americom	1981
Galaxy 1	134°	O	EE.UU./Hughes Com	1983
Satcom 1R	139°	O	EE.UU./RCA Americom	1983
Aurora 1	143°	O	EE.UU./Alascom	1982
Westar VII	144°	O	EE.UU./Western Union	--
Potok-3	168°	O	URSS	--
TDRS B	171°	O	EE.UU./NASA	1988
Pacstar-2	175°	O	Papúa Nueva Guinea	1991
Finansat 1	178°	O	EE.UU./Financial Sat	--

Tabla.- Satélites geoestacionarias de comunicaciones que operan en la banda Ku. De acuerdo a la zona geográfica el satélite transmite en las frecuencias indicadas.

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
Eutelsat II-2	3°	E	Eutelsat	1990
Telecom 1C	3°	E	Francia	1987
Tele-X	5°	E	Naciones nórdicas	1989
Eutelsat I-2	7°	E	Eutelsat	1987
Telecom I B	8.5°	E	Francia	1985
Eutelsat I-4	10°	E	Eutelsat	1987
Eutelsat I-1	13°	E	Eutelsat	1983
Zenon-B	15°	E	Francia	--
AMS-1	15°	E	Israel	1990
Sicral 1A	16°	E	Italia	1987
Eutelsat I-5	16°	E	Eutelsat	1988
SABS	17°	E	Arabia Saudita	--
Zenon-C	19°	E	Francia	--
SES-Astra 1	19°	E	Luxemburgo	1988
Eutelsat II-3	19°	E	Eutelsat	1990
DFS-1	23.5°	E	Alemania Occidental	1989
DFS-2	28.5°	E	Alemania Occidental	1989
Videosat-1	32°	E	Francia	--
Eutelsat II-1	36°	E	Eutelsat	1990
Paksat 1	38°	E	Pakistán	1989
Paksat 2	41°	E	Pakistán	--

Tabla.- (Continuación)

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
Loutch	53°	E	URSS	--
Intelsat VI	57°	E	Intelsat	--
Intelsat VI-1	60°	E	Intelsat	1989
Intelsat VA-F12	60°	E	Intelsat	1985
Intelsat V-F5	63°	E	Intelsat	1982
Intelsat VI-2	63°	E	Intelsat	--
CBSS-1	65°	E	China	1988
Intelsat V-F7	66°	E	Intelsat	1983
Celestar-2	70°	E	EE.UU./McCaw	1990
Gorizont-9	75.7°	E	URSS	1984
CBSS-2	80°	E	China	1988
Loutch 3	90°	E	URSS	--
Gorizont-13	90°	E	URSS	1986
CBSS-3	92°	E	China	--
BS-3	110°	E	Japón	1990
SCC 1	124°	E	Japón	1989
SCC 2	128°	E	Japón	1989
Gorizont-14	140°	E	URSS	1987
JCS-1	150°	E	Japón	1989
JCS-2	154°	E	Japón	1989
Aussat-1	156°	E	Australia	1985
Aussat-2	160°	E	Australia	1985
Aussat-3	164°	E	Australia	1987
Pacstar-1	167.5°	E	Papúa Nueva Guinea	1991
Celestar-1	170°	E	EE.UU./McCaw	--
Intelsat V-F1	174°	E	Intelsat	1981
Intelsat V-F8	180°	E	Intelsat	1984
Intelsat V-F2	1°	O	Intelsat	1980
Telecom 1C	3°	O	Francia	--
Telecom 1B	5°	O	Francia	1985
Zenon-A	8°	O	Francia	--
Telecom 1A	8°	O	Francia	1984
Telecom 2A	8°	O	Francia	1991
F-Sat-2	11°	O	Francia	1988
Loutch 1	14°	O	URSS	--
Gorizont-12	14°	O	URSS	1986
Intelsat V-F6	18°	O	Intelsat	1983
TV-Sat 1	19°	O	Alemania Occidental	1987

Tabla.- (Continuación)

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
Helvetsat - 1	19°	O	Suiza	1990
TDF-1	19°	O	Francia	1988
Olympus 1	19°	O	Agencia Espacial Europea	1989
Sarit	19°	O	Italia	1989
Intelsat VA-F10	24.5°	O	Intelsat	1985
Intelsat VA-F11	27.5°	O	Intelsat	1985
Eiresat-1 (Atlantic Satelite)	31°	O	Irlanda	1990
BSB	31°	O	Reino Unido	1989
Hispasat	31°	O	España	1992
Intelsat V-F4	34.5°	O	Intelsat	1982
Orion-1	37.5°	O	EE.UU./Orion Sat Corp.	--
PAS 1	45°	O	EE.UU./PanAmSat	1988
Brasil-Sat C	45°	O	Brasil	--
Intelsat V-F3	53°	O	Intelsat	1981
ISI-1	56°	O	EE.UU./Int.Sat.Inc.	--
SBS-6	62°	O	EE.UU./IBM	1989
Brasil-Sat B	64°	O	Brasil	--
ASC-3	64°	O	EE.UU./American Sat	1990
Spacenet II	69°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1984
Canadá BSS 1	70.5°	O	Canadá	--
Galaxy K1	71°	O	EE.UU./Hughes Comm. Inc	1989
Uruguay-Sat	71.5°	O	Uruguay	--
Westar A	73°	O	EE.UU./Western Union	--
Sat Mobile 2	75°	O	EE.UU./Sat Mobile Co.	1991
Expresstar B	77°	O	EE.UU./Federal Express	1990
Nahuel A	80°	O	Argentina	--
Satcom K2	81°	O	EE.UU./GE Americom	1985
Brasil-Sat A	81°	O	Brasil	--
ASC-2	8°	O	EE.UU./Am Sat Corp.	1989
Satcom K1	85°	O	EE.UU./GE Americom	1986
Nahuel B	85°	O	Argentina	--
Perú-Sat	86°	O	Perú	--
Spacenet III	87°	O	EE.UU./GT Spacenet	1988
Cuba-Sat	89°	O	Cuba	--
SBS-4	91°	O	EE.UU./IBM	1984
Canadá-BSS2	91°	O	Canadá	--

Tabla.- (Continuación)

Nombre	Posición (longitud geográfica)		Propietario	Año de lanzamiento
Caribe Sat	92.5°	O	Países del Caribe	--
Ecuador-Sat	95°	O	Ecuador	--
SBS-3	95°	O	EE.UU./MCI	1982
Bermudas-Sat	96°	O	Bermudas	--
SBS-2	97°	O	EE.UU./Comsat General	1981
SBS-1	99°	O	EE.UU./Comsat General	1980
Gstar IV	99°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1990
Paraguay-Sat	99°	O	Paraguay	--
Galaxy BSS1	101°	O	EE.UU./Hughes Com	1989
Gstar I	103°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1985
Colombia Sat	103°	O	Colombia	--
Venezuela Sat	104°	O	Venezuela	--
Gstar II	105°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1986
Chile-Sat	106°	O	Chile	--
M-Sat	106.5°	O	Canadá	1992
Anik E1	107.5°	O	Canadá	1990
Anik C1	107.5°	O	Canadá	1985
Anik C2	110°	O	Canadá	1983
Anik E2	110.5°	O	Canadá	1990
Morelos 1	113.5°	O	México	1985
Andes-Sat	115°	O	Venezuela/Colombia /Bolivia/Ecuador	--
Morelos 2	116.5°	O	México	1985
Anik C3	117.5°	O	Canadá	1982
Sat Mobile 1	120°	O	EE.UU./Sat Mobile Co.	1991
Spacenet I	120°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1984
SBS-5	122°	O	EE.UU./IBM	1988
Expresstar A	124°	O	EE.UU./Federal Express	1990
Gstar III	124°	O	EE.UU./GTE-Spacenet	1988
Mex-sat	127°	O	México	--
ASC-1	128°	O	EE.UU./American Sat C	1985
Galaxy K2	130°	O	EE.UU./Hughes Comm. Ir	1989
Westar B	132°	O	EE.UU./Western Union	--
Hughes MSS1	135°	O	EE.UU./Hughes Comm.	--
Mex-Sat	136°	O	México	--
Canadá-BSS3	138°	O	Canadá	--
USA-BSS1	148°	O	EE.UU./Western	--
USA-BSS2	166°	O	EE.UU./Western	--
Pacstar-2	175°	O	Papúa Nueva Guinea	--

5. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACION TERRENA

5.1 Introducción

Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es su antena o plato parabólico. El término “estación terrena” se utiliza indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite, sin importar si está fijo en algún punto, si es una unidad móvil, o si está instalado en un barco, avión o cualquier otro vehículo.

Cuando una estación terrena satisface necesidades vitales o prioritarias de comunicación, no se desea que deje de funcionar por posibles y eventuales fallas locales del suministro comercial de energía eléctrica, por lo que debe adaptársele su propia plana de respaldo, denominada comúnmente como **sistema ininterrumpido de energía**.

5.2 La Antena

5.2.1. Configuraciones Geométricas y su 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 o recibida por una antena isotrópica (dBi). Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir algo, y la mínima en todas aquellas otras direcciones que no sean de interés.

La ganancia de una antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación. Su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en un punto común llamado foco. Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena y en él se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta. El tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Hay varios tipos de alimentación, los tres más utilizados son los de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain.

En una antena parabólica con alimentación frontal el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena y la apertura por la que radia está orientada hacia el suelo. Presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida. Esta antena resulta fácil y económica de construir, y para ciertos fines su operación es satisfactoria. Se usa casi universalmente en las estaciones caseras receptoras de televisión.

En una antena parabólica con alimentación descentrada sólo 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 (alimentador) y del paraboloide no coinciden, de allí el nombre de alimentación descentrada.

La construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es más costosa que la de alimentación frontal, además de que no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica. Este tipo de antena se utiliza en varias estaciones receptoras y transmisoras de televisión, telefonía y datos.

La antena Cassegrain es mucho más eficiente que cualquiera de los dos tipos ya descritos y su ganancia es mayor, pero su precio es más alto. Se utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, así como en todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de telefonía y datos. Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado "subreflector" y el alimentador o corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino

hacia arriba. Los ejes de la parábola, el alimentador y la hipérbola coinciden y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y con un alimentador más alejado de su vértice; de esta forma la parábola equivalente captura mejor la energía radiada por la corneta y el desborde se reduce significativamente.

Además de los tipos de antenas ya mencionados, existen varios otros que también son empleados en ciertas aplicaciones, por ejemplo la antena toroidal es un reflector que en su plano vertical tiene una curvatura parabólica, mientras que en el plano horizontal la curvatura es circular; presenta la ventaja de que puede recibir simultáneamente las señales provenientes de varios satélites situados en una sección del arco geoestacionario sin necesidad de moverla, y sus dimensiones son relativamente pequeñas del orden de 10 metros de diámetro.

5.2.2 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 azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación -en latitud y longitud- y de la ubicación en longitud del satélite. Tomando como referencia al 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 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, al norte geográfico de la Tierra para que ese mismo eje de simetría pase por la posición en longitud del satélite.

5.2.3. Tipos de Montaje.

Los desplazamientos del satélite y el tipo de estación terrena, así como su posición geográfica, sus aplicaciones y las necesidades que se tengan para pruebas y mantenimiento frecuentes, determinan la estructura del montaje que la antena debe tener, ya sea de elevación azimut, X-Y o ecuatorial. Todos tienen dos ejes para realizar los movimientos de

orientación de la antena; uno es fijo con relación al piso y se denomina primario, y el otro(secundario) es móvil con referencia al primer eje.

En el caso del montaje elevación azimut, (El-Az) la antena tiene su eje primario fijo en la dirección vertical, y al girar alrededor de él se efectúan los cambios del ángulo de azimut, su eje secundario es horizontal y con él se orienta la antena en elevación. El montaje es sencillo y tiene la ventaja de que sólo el giro en elevación puede producir deformaciones en la geometría de la antena debidas a su peso. Por esta razón lo utiliza la mayor parte de las antenas.

El montaje X-Y tiene su eje primario colocado horizontalmente y el eje secundario es perpendicular a él. La configuración es práctica para rastrear con facilidad a un satélite cuando éste pasa por el cenit, -o sea directamente arriba de la estación, en la zona ecuatorial-, puesto que resulta inadecuada para rastrear satélites cerca del horizonte. el montaje X-Y es más apropiado para las antenas que se comunican con satélites de órbita baja que con satélites geoestacionarios.

Montaje ecuatorial.- Su eje primario (horario) es paralelo al eje de rotación de la tierra, 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 sólo girarla sobre su eje horario, y se utiliza muy poco en estaciones terrenas de comunicaciones. De cualquier forma cabe señalar que los ajustes de los ejes horario y de declinación son mucho más complicados que los de orientación con un montaje de elevación-azimut.

Para realizar los ajustes de orientación se emplean mecanismos de engranajes y gatos de tornillo y las fuerzas motrices asociadas se generan por medio de motores.

5.3. Rastreo del Satélite.

Dependiendo de cuánto se mueva el satélite “geoestacionario” en relación con su posición designada y del ancho del haz de la antena terrestre que desee comunicarse con él, se puede requerir o no un sistema de rastreo. Si el ancho de haz de la antena es mucho más grande que la ventana del satélite, entonces no se necesita un sistema de rastreo, pero la aplicación de la antena es la que dicta finalmente esta necesidad.

Existen fundamentalmente dos tipos de sistemas de rastreo, el preprogramado y el automático; en el caso del segundo, el seguimiento del satélite se puede hacer por pasos o en forma continua (con monoimpulso).

El rastreo preprogramado consiste en determinar con anticipación los movimientos del satélite y programar acordemente el mecanismo de orientación de la antena de la estación terrena para que lo siga. Esta técnica se utiliza en algunas estaciones de tamaño medio en sistemas nacionales. El método de seguimiento automático de rastreo por pasos -también conocido como de “ascenso” es empleado por todas las estaciones de tamaño medio del estándar B del Intelsat y por la mayor parte de las estaciones grandes de estándar A, y es más económico que el automático de monoimpulso.

El sistema de rastreo monoimpulso es el más preciso y confiable para las antenas grandes, especialmente si funcionan con la banda Ku. Su forma de operación se origina de la tecnología del radar, pues ahora la búsqueda es por un nivel mínimo de recepción de la señal guía, y para esto la antena parabólica necesita un alimentador especial.

5.4. El Transmisor.

Las estaciones terrenas transmisoras sencillas cuentan con un solo bloque de transmisión y las que conducen gran cantidad o diversidad de señales tienen varios bloques en paralelo. El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador y amplificador de alta potencia.

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 radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a “frecuencia intermedia” es el primero en su ascenso de conversión a microondas.

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

Un **tubo de ondas progresivas** es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 MHz o más en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos traspondedores del mismo.

Un **klistrón** es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión.

5.5. El Receptor.

5.5.1. Generalidades

Un satélite de comunicaciones funciona como un gran espejo directivo en el espacio; la señal retransmitida por él es idéntica a la que recibe desde la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico y, por supuesto, es amplificada. En su trayectoria de regreso 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 de las estaciones receptoras es sumamente bajo.

5.5.2 El Amplificador de Bajo Ruido

La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del diplexor se las entrega a un **amplificador de bajo ruido**; éste funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación. La antena tiene una capacidad de amplificación o ganancia; para fines de recepción, éste es su parámetro más importante y se designa como G ; el amplificador de bajo ruido tiene una “temperatura de ruido” como su principal parámetro indicativo, y mientras ésta sea más baja tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta; no solamente se introduce ruido en la señal a través del amplificador de bajo ruido, sino también por la antena; su magnitud se calcula en función de una “temperatura de ruido de la antena”; la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura total T de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores sean bajas.

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

La temperatura de ruido usual con la que operan los amplificadores actuales es del orden de unas cuantas decenas de grados Kelvin, o cuando mucho unos 250°K . Cuando un enlace de comunicaciones funciona en la banda Ku, es necesario diseñarlo con un buen margen de operación, para que cuando llueva, la señal no se degrade a niveles de potencia

insatisfactorios; a este margen de diseño se le da precisamente el nombre de **margen de lluvia**.

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. Los dos parámetros **F** o **T** son igualmente indicativos de la propiedad del amplificador de introducir menos o más ruido según sus características de diseño, pero por norma general es más común que en la banda **C** se defina a **T** y en la banda **Ku** se prefiera emplear el factor de ruido **F**. Ambos parámetros están relacionados entre si mediante una expresión muy sencilla ($T = 290 [F-1]$); este factor se expresa en decibeles.

5.6 Alimentación de Energía.

El tipo de servicio que una estación terrena presta determina la complejidad y confiabilidad necesarias de su sistema de alimentación de energía. Muchas estaciones transmisoras y receptoras necesitan contar en sus propias instalaciones con un sistema de **alimentación de energía ininterrumpida**; es decir, que si la luz comercial o primaria se va, la conmutación o cambio al sistema de energía de respaldo debe ser suave y rápida, sin ninguna interrupción del servicio.

En condiciones normales las estaciones obtienen la energía directamente del sistema general de distribución comercial. Sin embargo, si la luz se va, la subestación queda también sin energía y entonces es preciso que algún sistema de respaldo entre en operación inmediatamente; la potencia que este sistema de respaldo debe proporcionar es muy grande, entre 50 y 100 KVA, de la cual aproximadamente un 80% es consumida por los amplificadores de potencia. Los sistemas de respaldo más comunes son inmensos bancos de baterías y motores alternadores con volantes de inercia.

BIBLIOGRAFÍA

SATÉLITES DE COMUNICACIÓN.

Autor: Rodolfo Neri Vela.

Mac.Graw Hill

SATÉLITES DE COMUNICACIONES

Ingeniería y Sistemas.

Notas Complementarias

Rodolfo Neri Vela

Salvador Landeros Ayala.

MEMORIAS DEL CURSO

Diseño de enlaces de Comunicación Vía Satélite.

FIME, UANL.

