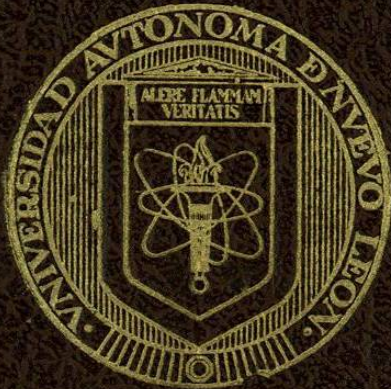


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA**



**SATELITES DE COMUNICACIONES
GEOESTACIONARIOS**

TESINA

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA
Y COMUNICACIONES**

PRESENTA

Jose Luis Vargas Turiza

ASESOR:

Ing. Fernando Estrada Salazar

**CD. UNIVERSITARIA, SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.
OCTUBRE DE 1998**

T

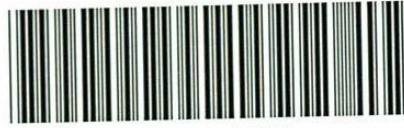
Z5853

.M2

FIME

1998

V37



1020146183

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA**



**SATELITES DE COMUNICACIONES
GEOESTACIONARIOS**

TESINA

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA
Y COMUNICACIONES**

PRESENTA

Jose Luis Vargas Turriza

ASESOR:

Ing. Fernando Estrada Salazar

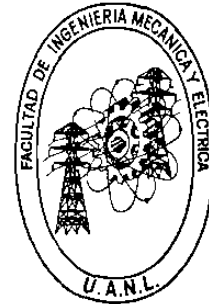
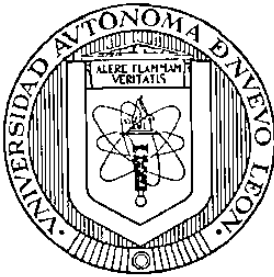
**CD. UNIVERSITARIA, SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.
OCTUBRE DE 1998**

T
Z S S²
• M₂
M
V₃+



FONDO
TESIS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA**



SATELITES DE COMUNICACIONES GEOESTACIONARIOS

T E S I N A

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES**

PRESENTA

JOSE LUIS VARGAS TURRIZA

ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR

**CD. UNIVERSITARIA, SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
OCTUBRE DE 1998**

Agradecimiento

A Dios nuestro señor, por brindarme la oportunidad de vivir y estar aquí y realizando uno de mis sueños.

A mis padres el Sr. Genaro Joaquin Vargas Arroyo y la Sra. María Luisa Turriza de Vargas, por brindarme todo su amor, comprensión y lo mas importante: su confianza y fe inquebrantable, así como su dedicación y sacrificio que en una forma desinteresada ofrecieron sin escatimar esfuerzos de ninguna clase para concluir una etapa mas de mi vida; gracias por brindarme la oportunidad de un estudio; gracias por sus desvelos y su apoyo que formaron mi ímpetu de salir adelante.

A mis hermanos quienes de alguna u otra forma me brindaron toda su ayuda y paciencia; Genaro Joaquin Vargas Turriza y Ana Luisa Vargas Turriza.

A mi novia Ana Maria Aguillón Charles a quien Dios puso en mi camino y me brindo su ayuda, comprensión y confianza siempre que la necesite ya que he compartido con ella esta etapa tan importante e inolvidable de mi vida; gracias mi amor.

A mis amigos por estar conmigo en las buenas y en las malas, gracias por su amistad; y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera me ayudaron durante mi carrera, y en la realización del presente trabajo; gracias a usted Inge Rene Cruz por el apoyo que me brindo.

Contenido

	Pag.
<i>I HISTORIA</i>	
Historia de las Comunicaciones	1
<i>II INTRODUCCION</i>	4
<i>III HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE</i>	
El cinturón de Clarke	6
Breve historia de los satélites	9
La comunicación vía satélite, una necesidad	11
<i>IV GENERALIDADES</i>	
Satélite	12
Clasificación de los satélites	12
Ventajas de la comunicación vía satélite	13
<i>V SATELITES DE GRAN ALTURA</i>	
El satélite de comunicaciones (geoestacionario)	15
La órbita geoestacionaria	16
Periodo orbital	17
Area de Cobertura	18
Perdidas de transmisión y asignación de frecuencias	18
Conceptos generales del sistema	20

***VI LANZAMIENTO Y COLOCACION EN ORBITA
GEOESTACIONARIA***

Como llegar a la órbita geoestacionaria	21
Inyección directa en órbita geoestacionaria	21
Inyección inicial en órbita elíptica	22
Inyección inicial en órbita circular baja	23
El orbitador y la órbita de Hohmann	24
Rescate de satélites	29

VII EL SATELITE Y SU NUEVO HOGAR

El medio ambiente espacial	30
Las fuerzas perturbadoras	32
Temperatura del satélite	34
Otros factores de perturbación	35

VIII DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO

El Intelsat III	37
-----------------------	----

***IX SUBSISTEMAS DE UN SATELITE Y SUS PRINCIPALES
FUNCIONES***

Introducción	41
Subsistema de Antenas	41
Subsistema de Comunicaciones	44
Subsistema de Energía Eléctrica	55
Subsistema de Control Térmico	60
Subsistema de Posición y Orientación	62
Subsistema de Propulsión	64
Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando	66
Subsistema Estructural	68

X ENLACE TIERRA-SATELITE-TIERRA

Circuito Hipotético de Referencia	69
Estación terrena transmisora	69
Satélite de Comunicación	70
Estación terrena receptora	70

XI ACCESO MULTIPLE

Definición y clasificación	71
Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	71
Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	72
Acceso múltiple por diferenciación de código (CDMA)	75
Ventajas y desventajas relativas	76
Ruido de intermodulación	77

***XII RELACION DE SATELITES DE COMUNICACIONES
(GEOESTACIONARIOS)***

Satélites geocestionarios que operan en banda "C"	78
Satélites geoestacionarios que operan en banda "Ku"	82

I. HISTORIA

HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES

Tal vez de las comunicaciones a larga distancia tuvieron su origen hace muchísimo tiempo, cuando un grupo de cazadores salió en persecución de una fiera de gran tamaño, la acorraló y, por fin, logró matarla a pedradas. Alguien encendió entonces una hoguera para avisar a las mujeres y los niños del campamento que la caza había concluido. O quizás golpeó con un garrote un tronco de árbol ahuecado, para llamarlos al festín.

La historia no registra el día en que el hombre aprendió a comunicarse, por la vista y el oído, a través de grandes distancias. Sin embargo, es indudable que ello era tan natural para el hombre primitivo como reconocer que el trueno o el relámpago anunciaban tormenta, y también, la comunicación, era igualmente necesaria para que pudiera sobrevivir.

La capacidad de comunicarse con el vecino, amplió el horizonte y los conocimientos del hombre. Por medio de las señales se podía advertir acerca de algún peligro que se aproximara, indicar donde se podría encontrar alimento, pedir auxilio y suministrar un faro o guía a los perdidos. Mientras mayor fuese la distancia a que se pudieran ver o escuchar las señales, más útiles resultaban.

Así, en el transcurso de las eras, sucedieron a los troncos de árbol los tambores, los bongós y, más tarde, el cañón. Al fuego sucedieron las señales de humo, al brillo de espejos, el semáforo de lámpara y el cohete de señales.

Hasta el siglo XIX el correo era lo que imperaba. A pie, a caballo o en barco, era quien llevaba los mensajes a larga distancia. Porque los sistemas e señales tal como se conocían entonces, se limitaban al alcance del oído o de la vista.

Pero todo cambió en forma un tanto rápida. la tecnología se adelantó al correo. Samuel Morse, norteamericano, invento el telégrafo en 1837. Alejandro Graham Bell, fue el iniciador de la era de la transmisión de la voz, 1876, con el teléfono. Guillermo Marconi siguió en 1895 con la radio y en 1901 logró que las primeras señales de radiotelegrafía atravesaran el Atlántico.

La primera voz cruzó los mares en 1915. Con la ayuda de la marina de Guerra de los Estados Unidos, el Sistema Telefónico Bell hizo ese año ensayos venturosos con una conexión de radio y teléfono entre Honolulu, Washington D.C. y París.

El servicio comercial de radio teléfono se estableció en 1927 entre Europa y América y no tardó en extenderse a la América Latina y al Lejano Oriente.

El radioteléfono podía viajar en torno del mundo, pero tenía defectos, principalmente en la recepción a causa de condiciones atmosféricas. La respuesta parecía hallarse en un cable submarino. Sin embargo, fue necesario un adelanto tecnológico para instalar en el cable pequeños repetidores suficientemente dignos de confianza para que duraran 20 años sin requerir atención. Repetidores que retransmitieran las señales sonoras por cables submarinos a través de varios miles de kilómetros. Tal cosa se logró por fin en 1956 al tender los Estados Unidos un cable telefónico entre Terranova y Escocia, en colaboración con Canadá y Gran Bretaña. Al poco tiempo se tendieron cables a Alaska, a Hawai y el Japón, a las Antillas y a Europa Continental.

En 1927, primer año de servicio comercial entre los Estados Unidos y Europa, hubo 11 000 llamadas transoceánicas. En 1961, el volumen había aumentado a más de 4 millones de llamadas, y el aumento prosigue a razón de cerca del 20 por ciento al año.

Surgen nuevas naciones, la población va en aumento, las barreras comerciales caen y el comercio internacional se encuentra en ascenso. Se hace inevitable la transmisión de televisión intercontinental y de datos de computadoras de alta velocidad. En todo el horizonte se observa la imperiosa necesidad de más canales de comunicación.

Ello ha provocado la expansión de los sistemas clásicos de comunicaciones en el ámbito espacial. El extraordinario incremento de las necesidades de canales en las telecomunicaciones mundiales, urgió al hombre durante las últimas décadas, a crear nuevos métodos y sistemas de comunicación, capaces de incrementar la cantidad de información transmitida en forma segura, eficiente, y en lo posible, con una rentabilidad superior.

Se puede dividir los sistemas de operabilidad intercontinental en dos grupos:

- a) Enlaces radioeléctricos: Onda Corta y Microondas
- b) Enlaces por Línea Física.

La radiocomunicación por Onda Corta, que solo puede proporcionar un número limitado de canales, debido a la estrechez del espectro utilizable y que en la actualidad ya está saturado, decreciendo rápidamente su capacidad de absorción. Además estos enlaces están afectados por factores aleatorios ya que dependen de la ionosfera, la cual esencialmente es irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre. También debemos considerar que admiten interferencias y bloqueo como asimismo la presencia de un importante nivel de ruido.

Dentro de los medios radioeléctricos debemos considerar los enlaces por microondas que si bien es cierto constituyen un medio de gran confiabilidad y capaz de manejar muchos canales, no es factible su empleo en enlaces intercontinentales por la imposibilidad de instalar repetidores con las características que ellos exigen, en medio de los océanos. Eliminada esta dificultad, económicamente son convenientes.

Los enlaces nombrados en segundo término (línea física), son los cables submarinos de banda ancha, muy seguros, que resultan un sistema eficaz, pero una solución parcial entre Estados Unidos y Europa, con derivaciones en Alaska, Hawai y otros lugares. La extensión de este medio es solo una función del costo y del tiempo, resultando casi imposible prolongarlos al África, Asia y otros puntos.

Del análisis efectuado surge una tercer alternativa como solución del problema planteado y consiste en establecer las comunicaciones mediante el uso de objetos situados fuera de la Tierra y más allá aún de la misma atmósfera. Dichos objetos, conocidos con el nombre de satélites, permiten la accesibilidad de las comunicaciones a cualquier parte del globo terrestre.

La utilización de satélites, ya sea reflectores o relevadores radioeléctricos, hace factible el uso de las microondas con las ventajas inherentes a las mismas, en cuanto a capacidad y confiabilidad, entre dos puntos situados sobre la superficie terrestre, agregándose a esto la ventaja que significa la necesidad de poseer sólo una estación terrena es una determinada zona, para enlazar ésta, a través del satélite, con cualquier otro centro productor de tráfico que posea igual facilidad, aún cuando el mismo esté situado a distancias considerablemente grandes. El costo de explotación de un canal resulta independiente de la distancia existente entre dos estaciones terrenas que estén dentro de la zona “iluminada”, o sea la zona de acción de un mismo satélite.

NOTA: Se debe considerar que del concepto de “línea física” queda incluida la fibra óptica, la cual representa una alternativa más para la comunicación intercontinental presentando ciertas ventajas, aunque también ciertas limitaciones.

II. INTRODUCCION

Las comunicaciones por satélite han alcanzado en la actualidad una etapa muy interesante en su desarrollo. Tradicionalmente, los satélites han sido utilizados para brindar el servicio de telecomunicaciones internacionales transoceánicas a través de enormes antenas de entrada, conectadas a las redes nacionales de comunicaciones. Las fibras ópticas presentan ahora un reto a los satélites en lo que concierne a estas rutas tradicionales, pero en lugar de anunciar la desaparición de las comunicaciones por satélite, han permitido desarrollar mercados nuevos para los cuales los satélites son la mejor opción. Los cambios principales que han ocurrido son la introducción de antenas más pequeñas para servicios nuevos tales como la recepción directa de televisión (incluyendo DBS), de sistemas de negocios con aperturas muy pequeñas (VSAT), y de terminales móviles para comunicaciones marítimas, aeronáuticas y también terrestres. La utilización de los satélites para la percepción remota de la superficie y el medio ambiente de la Tierra está en constante evolución y desarrollo. Todas estas nuevas y excitantes aplicaciones de las comunicaciones por satélite se han hecho posibles gracias al avance de la tecnología. En el futuro, esto continuará con avances nuevos tales como la optimización del procesamiento de señales a bordo, enlaces entre satélites y la constante evolución de antenas desplegadas de grandes dimensiones las cuales hacen posibles otras aplicaciones nuevas, tales como las comunicaciones de persona a persona.

Uno de los resultados más fascinantes y notables obtenidos a partir de los programas espaciales es la tecnología de los satélites artificiales. 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 una 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 se pueden intercambiar todo tipo de información casi instantáneamente, y más allá de las capas atmosféricas podemos observar y comprender mejor el universo.

En general, 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. Desde luego que sí hay algunas diferencias fundamentales entre ellos, pero de cualquier forma todos necesitan, por ejemplo, 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, posición 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 esos últimos, existen algunas variantes, pero los geoestacionarios son los más importantes y los que más se utilizan en la actualidad.

Con ellos es ahora posible comunicar lugares muy alejados o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de la información que transmiten y reciben es sorprendente. Por ejemplo, se pueden ver en vivo programas de televisión que se estén transmitiendo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo -aún en el caso de que uno se encuentre a bordo de una veloz embarcación en alta mar-, transmitir todas las páginas de un periódico -incluyendo fotografías- a un lugar remoto para que se imprima localmente, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, transmitir cursos de actualización y de entrenamiento a zonas urbanas y rurales, efectuar diagnósticos médicos a cientos o miles de kilómetros de distancia, realizar transacciones bancarias, actualizar o consultar bancos de datos por computadora (Internet), y muchas otras cosas más que contribuyen a la dinámica evolutiva de la sociedad moderna.

El objetivo de esta tesina es dar al lector una visión general de la clasificación y operación de los satélites de comunicación, técnicas que se emplean para colocar a los satélites geoestacionarios de comunicaciones en órbita, cómo es el medio ambiente del espacio en el que éstos trabajan, que influencia tiene ese medio en su diseño, cómo están estructurados, que función tiene cada una de sus partes, y que equipos terrestres se necesitan para comunicarse con ellos y aprovecharlos. La tesina incluye la descripción de algunos de los sistemas más importantes que operan en la actualidad, tanto nacionales como internacionales.

III. HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE

EL CINTURON 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 comunicar con radio con solo tres satélites colocados en esa órbita tan especial (fig. 3.1). ¿Como sería posible lograrlo, si los satélites deben moverse a gran velocidad, para no perder altura y caer hacia la Tierra, atraídos por ella? La Tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 horas; si se coloca un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

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 de 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 (fig. 3.2).

Sin duda fueron muchos los científicos e ingenieros que leyeron con interés las ideas de Arthur C. Clarke y de otros autores contemporáneos. 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 que fuese a unos cuantos kilómetros de distancia. Pero llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1 (Octubre 4 de 1957).

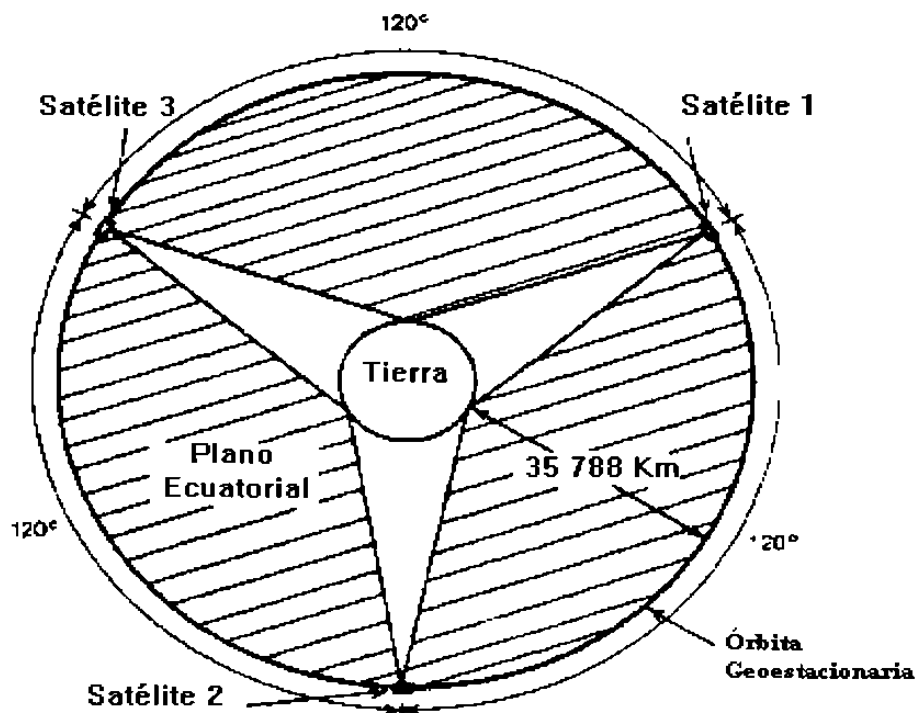


Figura 3.1 Clarke indicó que con solamente tres satélites en órbita geoestacionaria sería posible intercomunicar por radio a casi la totalidad del mundo habitado, desde luego con una limitación en la cantidad de tráfico simultáneo.

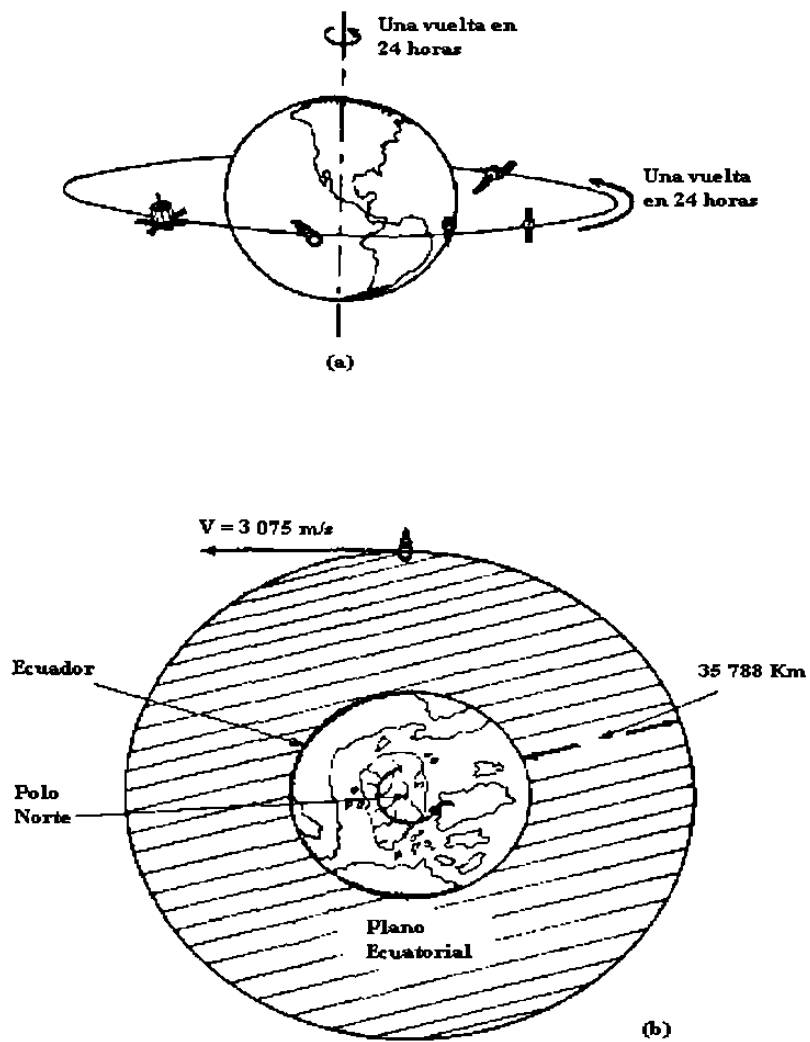


Figura 3.2 Los satélites geostacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven. a) Vista lateral; b) vista superior.

BREVE HISTORIA DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES

Las reflexiones en la Luna aplicando las técnicas de radar fueron repetidamente demostradas en los finales de los 40's e inicios de los 50's. En Julio de 1954, el primer mensaje de voz fue transmitido por la Marina de los Estados Unidos, mediante el trayecto Tierra-Luna. En 1956 un servicio relevador lunar de la Marina de los Estados Unidos, fue establecido entre Washington D.C. y Hawai. El circuito operó hasta 1962, ofreciendo una comunicación de larga distancia digna de confianza limitada solamente por la "disponibilidad" de la Luna en los sitios de transmisión y recepción. La potencia usada fue de 100 Kw, con antenas de 26 metros de diámetro a 430 Mhz.

Un globo metalizado puesto en órbita por un cohete, puede ser usado como un reflector de ondas electromagnéticas generadas por un transmisor terrestre. Parte de energía puede ser recogida por estaciones receptoras en algún punto sobre la Tierra, desde el cual el globo es visible, obteniendo de este modo un sistema pasivo de comunicación por satélite.

A través de la acción conjunta de los laboratorios Bell, la NASA y la JET Propulsión, el proyecto "ECHO" fue realizado.

El satélite cuya forma era un globo, tenía un diámetro de 30 metros y estaba cubierto de nylon con lamina de aluminio. Su órbita era circular inclinada y de altitud de cerca de 1500 Km. En 1960 se logró la transmisión de telefonía; gracias al sistema de FM en la banda de radiofrecuencias de 960 Mhz y 2290 Mhz; mediante la cual se investigaron sus propiedades.

Aunque los satélites pasivos tienen capacidad infinita para comunicaciones de acceso múltiple, son gravemente obstaculizados por el uso ineficiente de la potencia transmitida. En el experimento "ECHO", por ejemplo, solamente una parte en 10^{18} de la potencia transmitida (10 Kw) es retornada a la antena receptora. Puesto que la señal se ve afectada por el ruido que llega desde varias fuentes, para compensar esto, se debe utilizar en el receptor un amplificador de bajo ruido.

La ventaja de los satélites pasivos, es que no requieren equipo electrónico sofisticado a bordo. Se usa para rastreo, un radiofaro, pero en general no es necesaria electrónica complicada. Tal simplicidad, mas la carencia de electrónica espacial en los fines de los 50's, hizo interesante el sistema pasivo en los primeros años de la comunicación por satélite. Una vez que en corto tiempo la electrónica espacial llega a estar disponible; los sistemas pasivos fueron reemplazados por los sistemas activos.

El lanzamiento del Sputnik I en 1957 fue seguido por la "carrera espacial" y esto fue reflejado con el lanzamiento del SCORE (Signal Communicating by Orbiting a Relay Equipment) por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en Diciembre 18 de 1958. El SCORE fue colocado en una órbita elíptica baja con un perigeo de 182 Km. y un apogeo de 1048 Km. y un período de 101 minutos.

Su modo normal de operación consistía en grabar el mensaje enviado desde la Tierra mientras pasaba sobre una estación terrena (transmisora) y retransmitirlo cuando lo requería otra estación terrena (la receptora). La “longitud” máxima del mensaje era de 4 minutos y su capacidad era de un canal de voz ó 70 canales de teletipo de 60 palabras por minuto recibiendo señales desde las estaciones terrenas a 150 Mhz y retransmitiéndolas a 132 Mhz.

El equipo de comunicaciones estuvo energizado con baterías. Después de 12 días de operación estaban completamente descargadas y se detuvo la transmisión.

Después de indagar por primera vez en el espacio con los satélites “SPUTNIK”, “EXPLORER” y “VANGUARDIA”, incluyendo los proyectos “SCORE” y “COURIER” el mayor paso experimental en tecnología de satélites de comunicación activos, se realiza con los proyectos “TELESTAR”, “RELAY”, y el “SYNCOM”.

El proyecto “TELESTAR” es el mas conocido de los anteriores probablemente porque fue el único capaz de retransmitir programas de T.V. a través del Atlántico. El primer “TELESTAR”, se lanzó desde Cabo Cañaveral el 10 de Julio de 1962. Era una esfera de aproximadamente 87 cm. de diámetro pesando 80 Kg. El vehículo utilizado de lanzamiento fue un cohete Thor-Delta el cual situó al satélite en una órbita elíptica con un apogeo de 5600 Km. con un periodo de 2.5 horas.

El “TELESTAR II” se construyo con una mayor resistencia a la radiación, pero por lo demás fue idéntico a su predecesor. Se lanzó el 7 de Mayo de 1963. La potencia de transmisión de los “TELESTAR” I y II era de 2.25 wats proporcionada por un tubo de ondas progresivas (TWT) con un ancho de banda de 50 Mhz a 6 y 4 Ghz. Ambos fueron de estabilidad por giro. La capacidad de comunicación era de 600 canales telefónicos ó un canal de T.V. El “TELESTAR” se diseñó como un experimento y no fue destinado para operación comercial. Entre otras cosas, la órbita usada hizo al satélite “visible” solamente con periodos breves. Un proyecto con objetivos similares, el proyecto “RELAY” fue desarrollado por Radio-Corporation of America, bajo contrato con la NASA, siendo igualmente exitoso.

Los E. U. han desarrollado un papel muy importante desde el principio en cuanto se refiere al campo de la comunicación por satélite, pero la antigua URSS también lanzó en Mayo de 1965 su primer satélite de comunicación: “MOLNIYA” de órbita elíptica con un apogeo de 39 152 Km. y un periodo orbital de 11 horas con 38 minutos.

El primer satélite comercial geostacionario fue el “INTELSAT I” desarrollado por Comsat para Intelsat. Lanzado en Abril 6 de 1965 permaneció activo hasta 1969. Su rutina de operación entre Estados Unidos y Europa empezó en Junio 28 de 1965.

Operó con dos transponders de 25 Mhz de ancho de banda con una portadora ascendente centrada en 6301 Mhz para Estados Unidos. Las frecuencias descendentes eran 4081 Mhz para Estados Unidos y 4161 Mhz para Europa.

LA COMUNICACION VIA SATELITE, UNA NECESIDAD

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

En lo que respecta a las radiocomunicaciones por onda corta (banda HF) éstas solo pueden proporcionar un número limitado de canales debido a la estrechez del ancho de banda utilizable. Hay que recordar, que a mayor frecuencia portadora se dispone de un mayor ancho de banda y por lo tanto de mayor capacidad; en la actualidad la banda ya está saturada. Además la propagación en esta banda está afectada por los factores aleatorios ya que depende de la ionosfera, la cual es esencialmente irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre.

Al considerar los enlaces de microondas en redes por Tierra, los problemas de ancho de banda (capacidad) y de la incertidumbre por la ionosfera son ampliamente superados constituyendo un medio de gran confiabilidad y capaz de manejar una gran capacidad de información (tanto en telefonía como en T.V.). Sin embargo no es factible su empleo en enlaces intercontinentales por la imposibilidad de instalar repetidoras con las características que ellas exigen, en medio de los océanos (No olvidemos que las microondas solo se propagan en línea de vista, es decir, en línea recta). Fuera de esta dificultad, económicamente son convenientes.

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

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

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

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

IV GENERALIDADES

SATELITE:

Definición

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

CLASIFICACION DE LOS SATELITES

1.- De acuerdo a su principio de operación. Podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Consideremos a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite (grabación, reproducción, amplificación, cambio de frecuencia, etc.).

2.- De acuerdo a su aplicación. Podemos clasificar a los satélites en dos grupos: civiles y militares. Dentro de los civiles podemos incluir a los satélites de comunicaciones, meteorológicos, los de fines de investigación, etc.

3.- De acuerdo a su órbita. Por su órbita los podemos clasificar en satélites GEOESTACIONARIOS Y NO GEOESTACIONARIOS. Un satélite geoestacionario es aquel que permanece fijo con respecto a la Tierra, es decir, visto desde la Tierra aparecerá como un punto fijo en el cielo. Un satélite no geoestacionario aparecería siempre en movimiento con respecto a la Tierra, un ejemplo de esto es la Luna.

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

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

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

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

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

VENTAJAS DE LA COMUNICACION VIA SATELITE

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

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

3.- Mayor confiabilidad. Otra consecuencia del hecho de utilizar una sola repetidora, en vez de una red de ellas en los enlaces vía satélite es la reducción de la posibilidad de fallas a una sola (el satélite), lo cual da una gran confiabilidad al sistema. Además hay que considerar las normas más estrictas que controlan la fabricación del satélite, lo que permite la seguridad de su funcionamiento durante su tiempo de vida útil.

Pero aún debemos agregar esto, el hecho de que los fabricantes de los satélites proveen a éste de equipo redundante para las partes más susceptibles de daño lo que definitivamente garantiza su funcionamiento.

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

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

V SATELITES DE GRAN ALTURA

EL SATELITE DE COMUNICACIONES (GEOESTACIONARIO)

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

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

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

1. Permite el uso de antenas terrestres estacionarias
2. El satélite es visible casi la mitad de la superficie terrestre

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

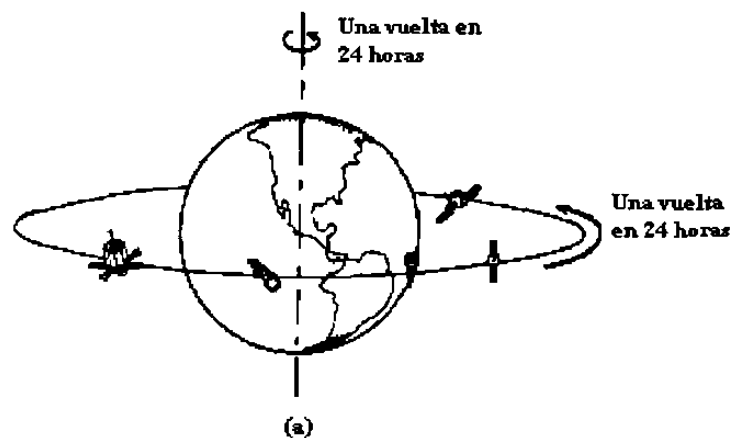
El experimento “SYNCOM colocó un satélite aproximadamente a 36 000 Km. arriba del ecuador de la Tierra y apuntó la dirección de avance del satélite a lo largo de una línea idéntica a la de rotación de la Tierra sobre su eje. Controlando cuidadosamente (desde la Tierra a través de sistemas de mando por radio) la velocidad de avance del satélite y sincronizándola a la velocidad de rotación de la Tierra sobre su eje, el satélite alcanzó lo que se conoce como *órbita geoestacionaria*. Esto es, el satélite se mueve al frente con la misma velocidad que la Tierra sobre su eje, y esto significa que para una estación transmitiendo o recibiendo localizada en la Tierra, el satélite siempre estará situado en el mismo punto relativo en el cielo. Se requiere de un sistema muy cuidadosamente diseñado para el lanzamiento y puesta en órbita del satélite.

LA ORBITA GEOESTACIONARIA

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

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

Al cumplir con estas condiciones se logra un período de 24 horas lo cual aunado a la órbita ecuatorial alrededor del mismo eje de rotación de la Tierra permite la sincronización y por lo tanto la órbita geoestacionaria lo cual es derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífuga y de atracción mecánica espacial la cual rige el movimiento de los planetas y de nuestros satélites artificiales. Una vez que el satélite se fija en su posición, es necesario estabilizarlo y corregir su posición constantemente ya que existen fuerzas externas que se encargan de moverlo. Los subsistemas de propulsión son los encargados de realizar estas “maniobras”. Los motores de maniobra y los motores de orientación son alimentados normalmente por combustibles que operan propulsores químicos, el más utilizado es la *Hidrazina Monopropelente* aunque la tendencia apunta hacia la utilización de sistemas bipropelentes, (con dos propelentes distintos: un combustible y un oxidante). De hecho, es este combustible quien determina la vida útil del satélite el cual en promedio es de 10 a 14 años.



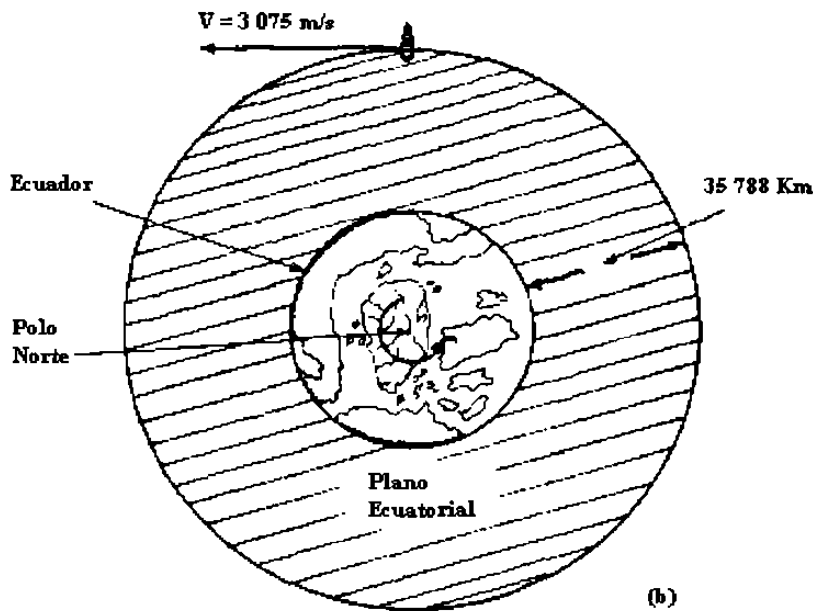


Figura 3.2 Los satélites geostacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven. a) Vista lateral; b) vista superior.

PERIODO ORBITAL

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

$$P_o^2 = 4 \pi^2 (R + h)^3 / \mu$$

donde:

P_o = Período orbital (seg.)

R = Radio de la Tierra (m) $\approx 6\,378$ Km.

h = Altura del satélite (m) $\approx 35\,890$ Km.

μ = Constante de Kepler = 3.99×10^{14} m³/seg²

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

$$P = 24 P_o / (24 - P_o)$$

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

AREA DE COBERTURA

Son tres los satélites requeridos para establecer un sistema de comunicación global a nivel mundial con éste tipo de satélites, con un ángulo de cobertura sobre el ecuador de la Tierra de 162.6 grados visto desde el satélite. En el sistema de cobertura global; los tres satélites se encuentran con una separación aproximada de 120 grados entre ellos.

En el caso de los sistemas Intelsat para comunicaciones internacionales, los puntos estratégicos donde se encuentran los satélites son: sobre el océano Atlántico, sobre el océano Pacífico y sobre el océano Indico.

La mayor desventaja de un sistema de comunicación por medio de satélites geoestacionarios o fijos, es el retardo de señal que se presenta, el cual es alrededor de los 0.26 segundos, para un solo salto, es decir, enlace estación terrena (Tx)-satélite-estación terrena (Rx).

PERDIDAS DE TRANSMISION Y ASIGNACION DE FRECUENCIAS

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

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

$$P_r = P_t G_t G_r (\lambda / 4\pi d)^2$$

donde:

P_t = Potencia de transmisión

G_t = Ganancia de antena de transmisión

G_r = Ganancia de antena de recepción

λ = Longitud de onda

d = Distancia entre satélite y estación terrena

y

$(4\pi d / \lambda)^2$ determina las perdidas en el espacio libre.

Dispositivos activos, como amplificadores a diodo túnel, GaAsFET, y tubos de onda progresiva (TWT) de alto y bajo nivel, permiten compensar las pérdidas en el espacio libre mencionadas. Se incluyen, además de este tipo de dispositivos, osciladores y mezcladores para transponder o abatir las frecuencias recibidas de las transmitidas, con objeto de evitar interferencias sufridas en el satélite por el uso de una misma frecuencia para transmisión y recepción. De esta forma un satélite geoestacionario, como parte integral de un sistema de comunicaciones, tiene la siguiente característica:

$$F_t \neq F_r$$

donde:

F_t = Frecuencia de transmisión

F_r = Frecuencia de recepción

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

En conclusión, los satélites, en general, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la Tierra (señal up-link), para retomarlas en otra banda de frecuencias (señal down-link). Las bandas mas utilizadas en la actualidad por los satélites de comunicaciones son las siguientes:

	BANDA "C" Mhz	BANDA "Ku" Mhz	BANDA "Ka" Mhz
Enlace ascendente <i>(up-link)</i>	5 925 a 6 425	14 000 a 14 500	27 500 a 31 000
Enlace descendente <i>(down-link)</i>	3 700 a 4 200	11 700 a 12 200	17 700 a 21 200

CONCEPTOS GENERALES DEL SISTEMA

El sistema en sí mismo es un sistema complejo que debe crear su propia potencia y fijarse o ajustarse por sí mismo cuando las fuerzas gravitacionales de la Luna, la Tierra y el Sol cambian. Los satélites modernos pesan entre 1 800 y 4 000 libras. Contienen una serie de receptores de radio/televisión los cuales recogen las transmisiones enviadas desde la Tierra (señales ascendentes o up-link) una serie de convertidores de frecuencia que cambian las señales up-link a una nueva banda de frecuencias para su viaje de regreso a la Tierra (señales descendentes o down-link), una serie de transmisores los cuales amplifican la potencia de las señales down-link y una serie de complejas antenas transmisoras y receptoras. Todo esto va colocado en una forma rectangular de aproximadamente 2 metros por lado. A bordo hay también paneles de celdas solares, las cuales deben estar dirigidas hacia el Sol para recibir los rayos solares; los cuales serán convertida a potencia eléctrica para operar el equipo electrónico que se encuentra a bordo, además, baterías para almacenar dicha potencia para los períodos ocasionales cuando la Tierra se “atraviesa” entre el Sol y el satélite. Cuando el satélite tiende a salirse de su punto de órbita asignada, una serie de cohetes miniatura de empuje (normalmente 12) que son construidos en la superficie del satélite, mediante controles de mando son encendidos y suavemente desvían al satélite a su posición correcta en órbita.

El satélite continuamente envía una serie de mensajes hacia la Tierra a un controlador de vuelo y una serie de computadoras constantemente analizan todo lo que está sucediendo a bordo desde las condiciones de los cohetes de empuje hasta la temperatura en el satélite y las condiciones de operación de los transmisores y receptores del satélite. Cuando algo se sale de los límites establecidos, el controlador transmite ordenes desde la Tierra al satélite para hacer los ajustes correspondientes en la operación del satélite.

VI LANZAMIENTO Y COLOCACION EN ORBITA GEOESTACIONARIA

COMO LLEGAR A LA ORBITA 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 (por ejemplo, una fuerza), entonces éste responde con una reacción igual y de sentido contrario, oponiéndose a la acción original. Estas deducciones de Newton que datan del siglo XVII hacen posible que el hombre actual lance al espacio vehículos de carga (cohetes o lanzadores) con satélites artificiales en su interior, y que éstos 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 fueran planetas y la Tierra como un Sol, aunque todo a escala mucho menor. En teoría, el número de tipos de órbita en los que un satélite se puede colocar al rededor de la Tierra es infinito, pero como ya se indicó anteriormente, la más codiciada y utilizada de las órbitas posibles es la geoestacionaria. Para llevar a un satélite a esa órbita geoestacionaria existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

INYECCION DIRECTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio sí es necesario en los otros dos procedimientos que se explican más adelante. La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y solo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a 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.

INYECCION INICIAL EN ORBITA ELIPTICA

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

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura aproximada de 200 Km. sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35 788 Km., que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado; obviamente, el encendido se efectúa después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del **motor de apogeo** resulte en la dirección correcta. Al encenderse éste, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geostacionaria (fig. 6.1)

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

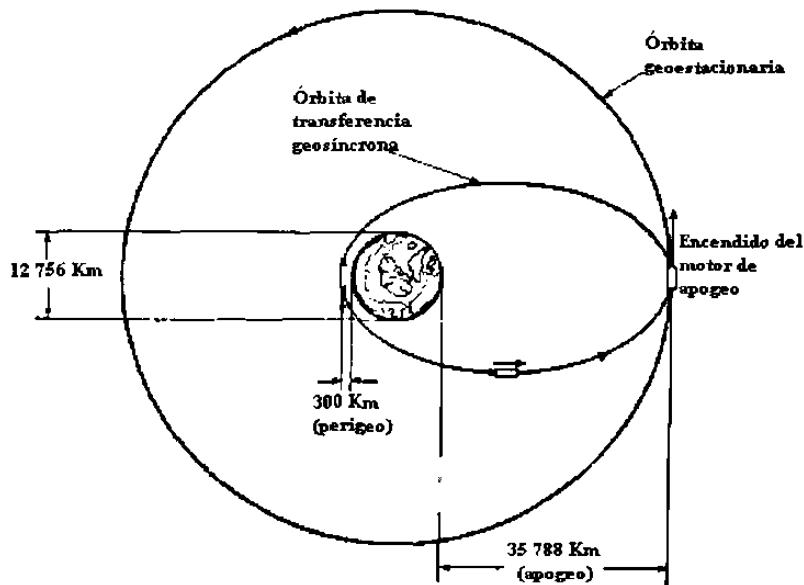


Figura 6.1 Algunos cohetes, como los de Ariane de la Agencia Espacial Europea, colocan a los satélites geoestacionarios en dos pasos. El satélite se pone primero en una órbita elíptica de transferencia geosíncrona y después de varias vueltas, en uno de los apogeos se enciende un motor que circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geostacionaria.

INYECCION INICIAL EN ORBITA CIRCULAR BAJA

Esta es la técnica empleada por el Sistema de Transportación Espacial de la NASA de los 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 compartimiento de carga (fig. 6.2) y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 km. sobre el nivel del mar (fig. 6.3). En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando de esta forma también en órbita circular baja alrededor de la Tierra, aunque separado del vehículo espacial; la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, y cuarenta y cinco minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su **motor de perigeo** se enciende. 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 (Inyección inicial en órbita elíptica). Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, más adelante y en el momento preciso, un **motor de apogeo** acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final.

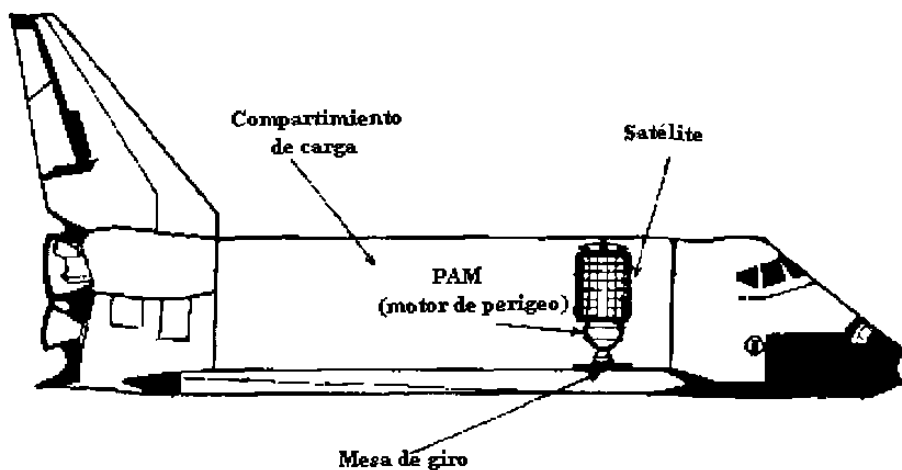


Figura 6.2 Configuración de un satélite almacenado en el compartimiento de carga de un orbitador. Un satélite de mayores dimensiones iría en posición horizontal.

En realidad, el procedimiento para 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. A continuación se describe con mayor detalle el caso particular en el que se utiliza el Sistema de Transportación Espacial de la NASA.

EL ORBITADOR Y LA ORBITA DE HOHMANN

Una de las varias aplicaciones de los orbitadores norteamericanos es colocar satélites en órbita circular baja, y como ya se explicó anteriormente, éstos se desplazan posteriormente con esfuerzos propios hasta llegar a la órbita geoestacionaria. El compartimiento de carga o bodega de un orbitador tiene 18.3 m. de largo y 4.6 m. de diámetro, y en él se pueden colocar uno o varios satélites, dependiendo de las dimensiones y peso que cada uno de ellos tenga. Cada satélite -acoplado a sus propios motores de propulsión de perigeo y apogeo- se coloca sobre una mesa de giro que posteriormente será activada durante la misión, poco antes de que se deje al satélite en órbita circular baja (fig 6.2).

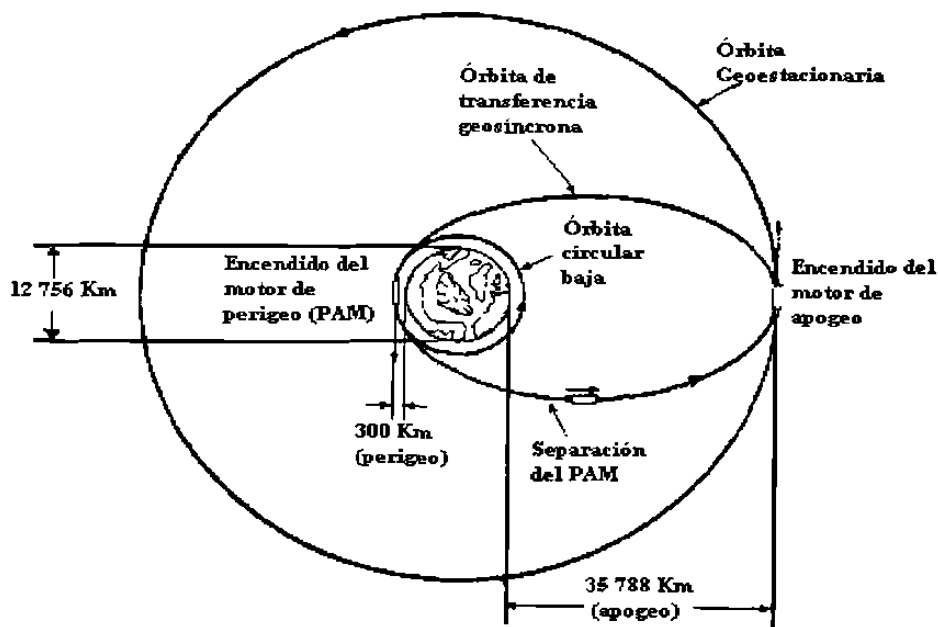


Figura 6.3 Los orbitadores de la NASA colocan al satélite en una órbita circular baja. Para que éste llegue a su posición geoestacionaria final deben seguirse otros dos pasos, mediante el encendido de un motor de perigeo y después el de un motor de apogeo. Como consecuencia del accidente del Challenger, pocos son los satélites comerciales que la NASA lanzará con sus orbitadores en los próximos años.

El orbitador despega desde Cabo Kennedy, situado 28.5° de latitud norte, y pocos minutos después entra en órbita circular alrededor de la Tierra, a una altura promedio de 300 km. sobre el nivel del mar; el plano de la órbita de vuelo forma un ángulo de 28.5° con respecto al plano ecuatorial (fig. 6.4)

Antes de liberar o soltar al satélite del compartimiento de carga, el astronauta responsable de hacerlo debe utilizar una de las computadoras y una pantalla fosforescente para verificar que todos los elementos que forman al satélite se encuentren en buenas condiciones; es decir, se revisa su estado de salud. Ésta es una gran ventaja que presentan los orbitadores, puesto que en el caso de que durante el ascenso alguna parte del satélite se haya dañado, aún se tiene la alternativa de tratar de repararlo, o bien de traerlo de regreso a Tierra, cosa que no es posible hacer con ningún otro tipo de lanzamiento actual.

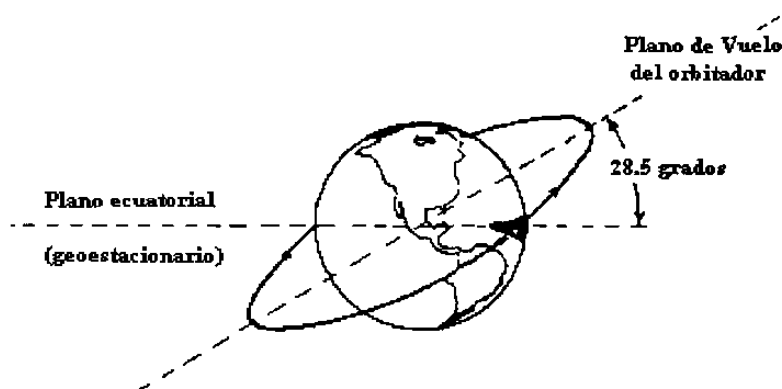


Figura 6.4 Cuando el orbitador pasa por el plano ecuatorial, el satélite es liberado del compartimiento e carga. Al igual que el orbitador, queda en órbita circular baja, inclinada 28.5° con respecto al plano ecuatorial. Se encuentra ahora en órbita circular baja.

Cuando el astronauta ha verificado que las partes del satélite se encuentran en orden, procede a dar a la computadora las instrucciones para activar los mecanismos de liberación. Se activa la mesa de giro sobre la que va colocado el satélite, hasta que alcanza una velocidad angular de aproximadamente 50 revoluciones o vueltas por minuto, y en el momento en el que el orbitador intersecta al plano ecuatorial (fig 6.4), se desactiva un sistema de resortes a presión, que lleva una buena cantidad de energía potencial almacenada; al tratar de retomar su condición física original, los resortes empujan al satélite hacia afuera, actuando como si fueran una catapulta. El satélite se ha separado del orbitador, girando como un trompo, lo cual le da estabilidad giroscópica, y se aleja cada vez más de la nave debido al movimiento inercial adquirido.

Sin embargo, la órbita del satélite sigue siendo circular, como cuando iba almacenado en el compartimiento de carga del orbitador; además, el plano sobre el cual viaja sigue formando un ángulo de inclinación de 28.5° con respecto al plano ecuatorial (fig 6.4). ¿Cómo se modifican los parámetros de la órbita, así como el plano de vuelo?

El procedimiento que se utiliza para llevar al satélite a su posición final se basa en los trabajos que el científico alemán Walter Hohmann desarrolló en los años veinte como parte de sus estudios de viajes interplanetarios. El objetivo del procedimiento es realizar los cambios de órbita y plano de desplazamiento con el menor consumo posible de energía (esta técnica no es la más corta o rápida, pero sí la más económica). Para ello, la siguiente etapa debe ser pasar al satélite de su órbita circular baja a una órbita elíptica muy alargada, cuyo perigeo esté a la altura de la órbita circular baja y su apogeo esté a la misma altura que la de la órbita circular final, en este caso la geoestacionaria. Como ya se indicó antes, la órbita elíptica en cuestión se llama órbita de transferencia geosíncrona, también conocida como **órbita de transferencia de Hohmann**.

Es evidente que para que el satélite pueda desplazarse de una órbita a otra necesita contar con un sistema propio de propulsión. El más común se conoce como PAM (Payload assist module) o módulo de asistencia de carga, del cual existen varias versiones. Se trata básicamente de un motor de perigeo desechable, que va acoplado a la parte inferior del satélite (fig. 6.2). Este módulo de asistencia debe ser capaz de empujar al satélite con la fuerza y duración necesarias para que éste tome la inercia suficiente y alcance la altura final del apogeo de la órbita elíptica de transferencia.

Cuarenta y cinco minutos después de que el satélite fue liberado del compartimiento de carga, cuando el orbitador atravesaba al plano ecuatorial, el satélite vuelve a cruzar dicho plano. En este preciso momento, controlado por un reloj o secuenciador de ignición, el módulo de asistencia de enciende en forma automática e impulsa rápidamente al satélite, colocándolo en la órbita elíptica deseada. El encendido del motor debe durar aproximadamente 80 segundos en forma ininterrumpida; de lo contrario, el satélite no alcanza la altura final deseada y se convierte en una pérdida, pues queda como chatarra espacial alrededor de la Tierra, a menos que esto pueda remediarse de alguna manera ya sea por algún método de rescate de satélites.

Los motores de tipo PAM utilizan combustible sólido y la forma en que éste se consume en el interior del motor no siempre es uniforme, lo cual puede producir un vector de empuje no alineado con el eje del cuerpo del satélite, y en consecuencia un cambio indeseable de rumbo. Para cancelar estos efectos de un posible empuje desbalanceado se hace girar al satélite poco antes de liberarlo del compartimiento de carga.

A los 80 o poco más segundos después del encendido, el combustible del motor se termina, y para eliminar esta carga muerta, un sistema de explosivos separa al PAM del cuerpo del satélite. Este ya con la suficiente inercia adquirida, continúa ascendiendo por sí solo hasta alcanzar el apogeo de su nueva órbita e iniciar después su descenso hacia su perigeo (fig. 6.3).

A continuación se rastrea el satélite durante varias vueltas elípticas, para determinar sus condiciones físicas y orientarlo adecuadamente antes de iniciar el tercero y último paso, que consiste en dar la orden a control remoto para que se encienda otro motor más pequeño, que forma parte del satélite. Este es el motor de apogeo, que le da un nuevo impulso para cambiar su velocidad y su dirección y colocarlo en órbita geoestacionaria. La órbita elíptica de transferencia está, para este caso, sobre un plano inclinado 28.5° con respecto al plano ecuatorial. Es evidente que dos de los puntos de intersección entre ambos planos, son el perigeo y el apogeo, mismos que, respectivamente, se denominan nodos de ascenso y descenso; en un nodo debe cambiarse la velocidad del satélite para circularizar la órbita y al mismo tiempo entrar al plano ecuatorial. Cuanto menor sea la velocidad que lleve, será más fácil corregir su rumbo y menor la cantidad de combustible necesario para hacerlo; por lo tanto, el punto de apogeo es idóneo para realizar esta maniobra, ya que ahí es donde el satélite alcanza su velocidad mínima. Antes de encender el motor de apogeo, el satélite debe ser orientado de tal forma que el vector de velocidad resultante de la suma de la velocidad que lleva con la del empuje que se aplique sea paralelo al plano ecuatorial y de la magnitud suficiente para mantenerlo en órbita geoestacionaria sin perder altura (fig. 6.5).

La rotación de la Tierra y la posición longitudinal final del satélite en el arco geoestacionario determinan cuántas vueltas elípticas debe dar el satélite antes de elegir el apogeo apropiado para efectuar las correcciones indicadas de velocidad. Desde luego, después hay que realizar todavía varias maniobras correctivas de ajuste, para circularizar la órbita lo mejor posible y ubicar al satélite en su posición precisa, es decir, en la longitud este u oeste que se le haya asignado para operar (figs. 6.6 y 6.7). Los conceptos ilustrados en la figura 6.5 también son válidos para el caso en que la inyección inicial se haga en órbita elíptica, tal como se describió en el procedimiento de inyección inicial en órbita elíptica; sin embargo, el ángulo formado entre el plano ecuatorial y el plano de la órbita elíptica depende de la latitud geográfica del centro de lanzamiento utilizado. Mientras este centro esté más cerca del ecuador, dicho ángulo será menor, así como el incremento de velocidad necesario y la cantidad de combustible para generarlo; en consecuencia, el costo de colocación en órbita geoestacionaria también se reduce.

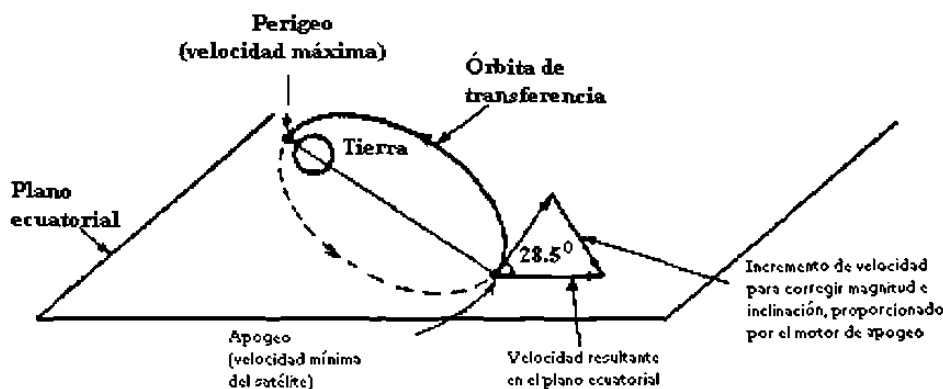


Figura 6.5 Suma vectorial de velocidades para circularizar la órbita y pasarla de un plano inclinado al plano ecuatorial.

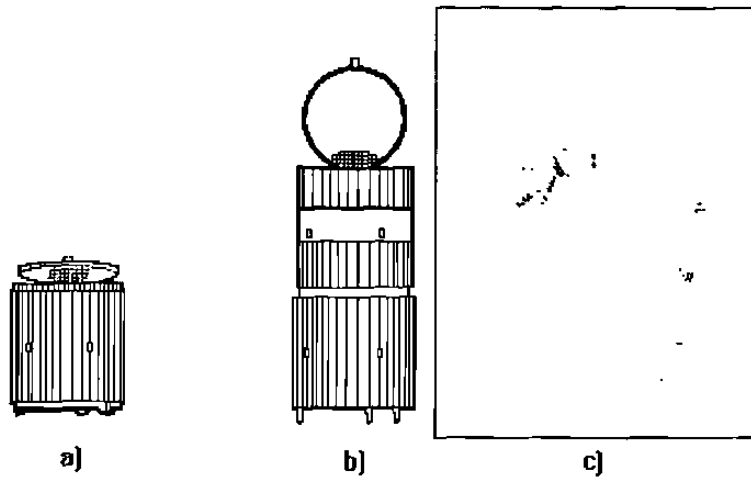


Figura 6.6 Configuraciones de un satélite Morelos; a) en sus estados de almacenamiento y cambios de órbita; b) despliegue telescópico de las celdas solares cuando ya está en órbita geoestacionaria, y c) el satélite en operación.

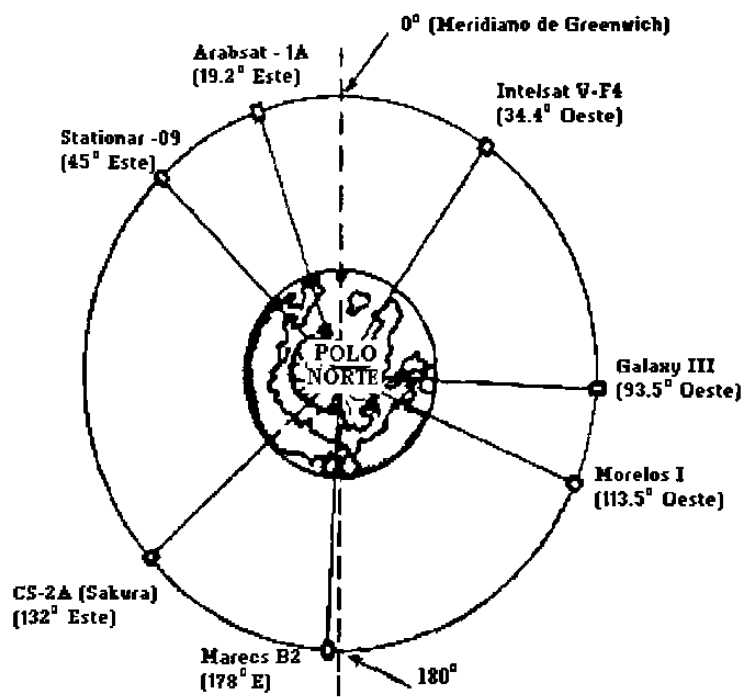


Figura 6.7 Posición geográfica de algunos satélites en la órbita geoestacionaria.

RESCATE DE SATELITES

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 sí se pueden rescatar, pero salvo pocas excepciones (los satélites de órbita baja, que no son geoestacionarios, como el satélite científico Solar Max) 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 hace algunos años, para rescatar los satélites Westar VI de EE. UU. y Palapa B de Indonesia; para ello se utilizó el orbitador de la NASA, que los trajo almacenados en su compartimiento de carga.

Sin embargo, 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 encuentren a la deriva a miles de kilómetros de distancia? Más adelante, cuando se mencione la estructura y funcionamiento de las principales partes de un satélite, se hablará de su subsistema de propulsión, diseñado para ser útil durante todos los años previstos para que el satélite funcione. Como los propulsores de este subsistema consumen combustible cada vez que deben ser activados, el satélite lleva en su interior tanques con combustibles almacenado para todas estas maniobras que se realizarán a través de varios años.

Retómese ahora el caso de un satélite que no haya logrado llegar a la órbita geoestacionaria, como fue el caso del 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 alcance la altura final deseada. Pocos segundos después del encendido, el PAM se había apagado inexplicablemente, quedando cada satélite en una órbita de unos cuantos miles de kilómetros de altura, mucho más abajo de la altura geoestacionaria. Era preciso bajarlos de alguna manera hasta la altura que vuelan los orbitadores, para que los astronautas pudieran salir de la nave a capturarlos y almacenarlos en el compartimiento de carga. Por lo tanto, 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. No era posible reparar los satélites en el espacio, a menos que se tuviesen los medios para volver a llenar sus tanques de combustible y ponerles un nuevo motor PAM. La única alternativa que se tuvo en esa ocasión fue traerlos de regreso a Tierra, para que las compañías aseguradoras los repararan o vendiesen y recuperaran parte de sus pérdidas económicas.

VII EL SATELITE Y SU NUEVO HOGAR

EL MEDIO AMBIENTE ESPACIAL

El satélite ha llegado a su posición final en el cinturón de Clarke, autorizada a su propietario con años de anticipación con 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. Afortunadamente, 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 2,000 kilómetros respectivamente, con lo cual se garantiza que no exista ningún riesgo de interferencia radioeléctrica entre ellos. Además, la posición en longitud en cada uno depende de la zona geográfica que se encargue de intercomunicar. Por ejemplo, un satélite diseñado para prestar servicios de telecomunicaciones a la India se colocó en órbita geoestacionaria sobre el océano Índico y no al otro lado de la Tierra, sobre el océano Pacífico, al sur de México; allí de nada le sirve el sistema a la India, a menos que la energía radiada por el satélite pudiera atravesar el planeta y ser capturada por antenas hindúes que estuvieran apuntando hacia el centro de la Tierra y no hacia el cielo.

De cualquier forma, hay ciertas secciones del cinturón de Clarke que son más codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico, debido a que 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 ahí 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, aún cuando se esté moviendo a gran velocidad alrededor de la Tierra para mantener su posición geoestacionaria, no debe desviarse de su trayectoria y tampoco debe cambiar la orientación de su cuerpo con respecto a la superficie terrestre.

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 tirándolo de él de un lado a otro, de tal forma que se le puede imaginar, aunque sea en forma muy exagerada, como una botella que flota sobre las olas del mar cambiando su orientación y orientación constantemente.

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 encargaran de volver a moverlo. A través del subsistema de propulsión del satélite, es posible a ayudarlo a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

En la figura 7.1 se muestran las dimensiones de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio; nótese que cada lado de la caja mide muchos kilómetros.

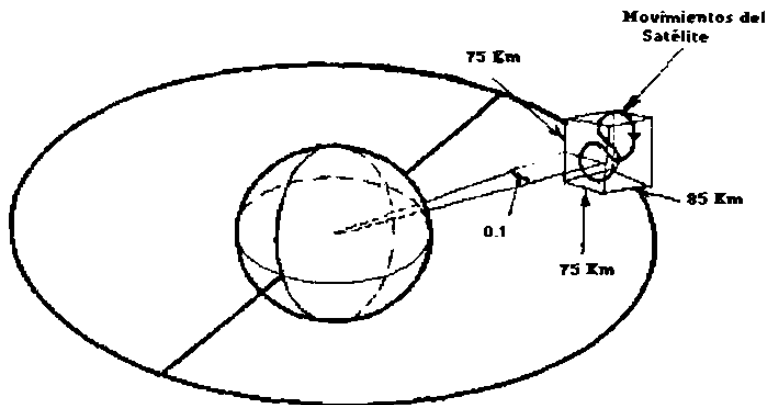


Figura 7.1 Siempre y cuando el satélite no se salga de esta gran caja imaginaria no hay ningún problema.

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. Claro está que para realizar todas éstas 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. Más adelante, donde se explica la estructura y funcionamiento de un satélite, se hará mención de los sensores que forman parte del satélite y que se encargan de recabar esta información para que sea enviada a la Tierra por señales radioeléctricas de telemetría.

Cada vez que el subsistema de propulsión se activa para corregir la posición y orientación del satélite se consume combustible, y poco a poco los tanques de almacenamiento se van vaciando. ¿Que 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, concediéndole su jubilación.

El número de años que pueda trabajar sin problemas, es decir, 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.

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. Es decir, si se imaginase a una gran esfera en cuyo centro esté el centro de la Tierra, y si pudiese medirse de alguna forma la intensidad del campo gravitacional en todos los puntos de la superficie de esa gran esfera imaginaria envolvente, no se obtendría el mismo valor en todos los puntos, 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. Más aún, 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 ésta es de 150 metros más largo que el eje menor. Para que se tuviese una uniformidad esférica del campo gravitacional de la Tierra, en primer lugar ésta debería de ser una esfera perfecta, y además su masa tendría que estar mezclada homogéneamente; ambas cosas son, por supuesto, imposibles, dada la manera en que se formó ya que gira sobre su propio eje.

La no uniformidad del campo gravitacional de la Tierra, combinada con el hecho de que la estructura del satélite tampoco tiene una masa homogénea, puesto que sus componentes están fabricadas con una diversidad de materiales, produce un par gravitacional. Este par o fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita; dicho cambio de velocidad o aceleración provoca a su vez que el satélite cambie de posición en longitud, es decir, que se mueva a la derecha o a la izquierda (oeste o este) sobre el arco geostacionario, dentro de la caja imaginaria de la figura 7.1.

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. Sin embargo, ésta 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. De cualquier manera, la combinación de éstas 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 de la figura 7.1; 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 (La eclíptica es el círculo de la esfera celeste que señala el curso aparente del Sol durante un año, y que corta al ecuador de la Tierra con un ángulo de 23.5°); un 30% de esta inclinación se debe al efecto del Sol y un 70% al de la Luna.

Dicha atracción combinada de la Luna y el Sol produce además una pequeña variación en la posición longitudinal del satélite, aunque no es tan importante como la causada por el campo gravitacional de la Tierra.

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, puesto que en el primer caso la superficie total expuesta a la presión de la radiación solar es mucho mayor; 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. Cuando hay una colisión de un meteorito con el satélite, primero le transmite un momento al segundo, que modifica ligeramente su posición y orientación.

Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solamente por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite también genera otras fuerzas perturbadoras.

El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite. Conviene apuntar que conforme los tanques de combustible se van vaciando, el centro de masa del satélite cambia; por lo tanto, cuando se activa el subsistema de propulsión para corregir errores en orientación y posición, el empuje resultante no se aplica precisamente sobre el centro de masa; esto produce pares o fuerzas igualmente perturbadoras durante la realización de las correcciones.

Por último, la misma radiación radioeléctrica de las antenas del satélite produce una presión, cuyo efecto es importante 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, o bien, el eje de radiación principal de la antena debe contener dicho centro de masa.

Como puede verse, 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. Sin embargo, hasta ahora sólo se ha hablado de los efectos perturbadores mecánicos o de movimiento sobre el satélite; a continuación se mencionan otros, que también pueden alterar su funcionamiento correcto, como son la radiación solar, las partículas cósmicas y los eclipses.

TEMPERATURA EN EL SATELITE

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

La principal fuente de radiación externa es el Sol, y aún cuando causa algunos problemas para conservar el balance térmico en el satélite, es obvio que sin él no sería posible ganar electricidad a través de las celdas solares; por supuesto, sin él tampoco habría vida sobre la superficie de la Tierra y mucho menos satélites artificiales girando alrededor de ella.

Por un lado, el Sol permite generar electricidad para que el satélite funcione, pero por otro complica el diseño del mismo. En todo momento el satélite tiene varias de sus partes expuestas a distintas temperaturas; mientras que la cara que está orientada hacia el Sol se calienta mucho, las partes no iluminadas se enfrían (fig 7.2). 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. En cuanto a 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; sin embargo, el efecto térmico de su radiación total es despreciable en comparación con el producido por la radiación solar directa. Por otra parte, 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; en estas condiciones, 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.

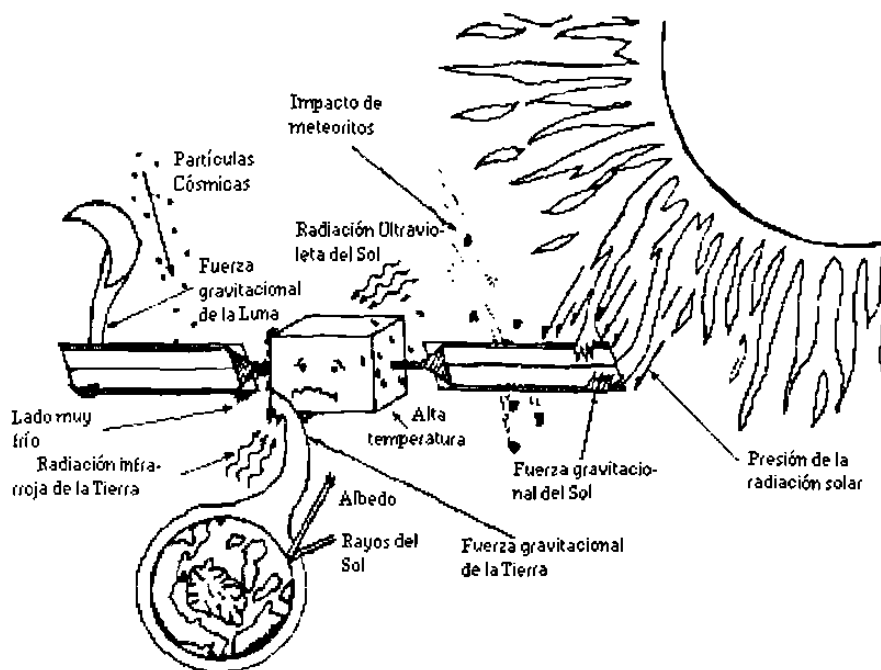


Figura 2.2 Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite.

OTROS FACTORES DE PERTURBACION

A continuación se mencionan algunos factores importantes que complican aún más la vida operativa del satélite (fig 2.2).

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. Además, la misma radiación degrada poco a poco la eficiencia de las celdas solares que después de varios años de trabajo y de estar expuestas al Sol reducen su eficiencia en un 20% a 30%.

El medio ambiente de casi vacío ocasiona, por su parte, que los metales, y los semiconductores se sublimen y tiendan a evaporarse. La cantidad de masa que pierden depende mucho de la temperatura, pero en realidad estas pérdidas son despreciables siempre y cuando los materiales utilizados para proteger al satélite no sean muy delgados. Hay otros efectos que pueden resultar más dañinos como es la posibilidad de que se condensen gases en superficies frías y produzcan un corto circuito en materiales aislantes. Como punto a su favor el medio ambiente de casi vacío tiene la ventaja de que elimina la posibilidad de que haya problemas por corrosión.

Adicionalmente, 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. En el tema anterior (Fuerzas Perturbadoras) se mencionó que los meteoritos podían modificar la orientación y posición del satélite, y además de esto, algunos también pueden perforar partes de su exterior, por la enorme energía que traen consigo a la velocidad que viajan. 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.

Con todo esto se ha descrito someramente el medio ambiente hostil en el que un satélite geoestacionario debe sobrevivir durante varios años. No sería extraño que en son de broma y si los satélites pudiesen hablar entre sí, uno de ellos le dijera al recién llegado: “bienvenido a casa”. Lo que sí 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 los materiales, química e ingeniería civil (por ejemplo la construcción de plataformas, centros de control y cimentación de las principales estaciones terrenas).

VIII DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO

EL INTELSAT III

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

La figura 8.1 muestra el diagrama a cuadros de un satélite de la serie Intelsat III. Donde la ruta de transmisión-recepción se conoce con el nombre de transponder el cual recibe las portadoras de radiofrecuencia (FR) en el orden de los 6 Ghz y las convierte a 4 Ghz (suponiendo banda C) amplificadas antes de ser retransmitidas, con objeto de aumentar la potencia de transmisión en el satélite por asignación a cada transponder de una fracción de la banda total.

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

Haciendo referencia a la Figura 8.1, estas señales son recibidas por la antena omnidireccional del satélite (antena de monitoreo), pasan por el amplificador a diodo túnel, el convertidor de frecuencias (formado por el mezclador y el oscilador local) y el tubo de ondas progresivas de baja potencia, e insertadas al decodificador de telecomando, a través de un filtro acoplador. Ahí son procesadas antes de aplicarse al circuito de control que puede ser el encendido del motor de apogeo para corregir la órbita, encender un amplificador a tubo de ondas progresivas, etc.

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

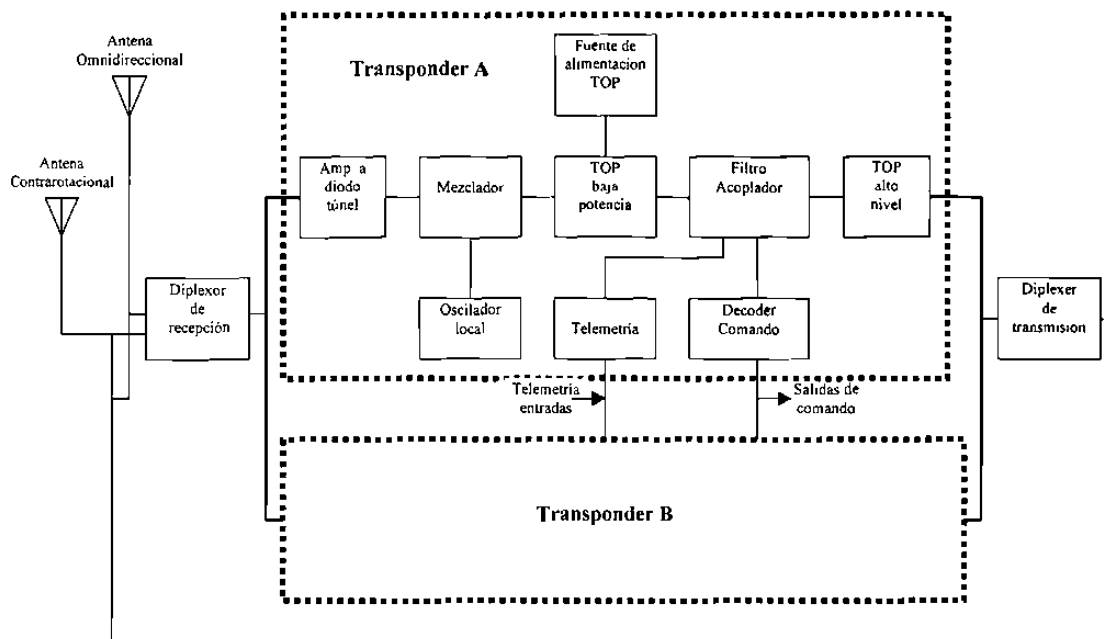


Figura 8.1 Diagrama a cuadros de un satélite de la serie Intelsat III.

a) ANTENA

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

Debemos aclarar aquí que el satélite Intelsat II fue un satélite de cuerpo cilíndrico estabilizado por giro (semejante al sistema satelital Morelos mexicanos) lo que consecuentemente obliga a utilizar una antena contrarrotacional, con giro contrario al del satélite para poderla orientar. Aunque se está describiendo al Intelsat III, el diagrama es válido, como se mencionó anteriormente, para un satélite cualquiera de los actuales solo con la consideración, en este punto, de que la antena no sería contrarrotacional para un modelo de cuerpo cúbico con aletas donde solo nos referiríamos a la antena como la "Antena de comunicaciones" para diferenciarla de la de monitoreo (la omnidireccional).

b) DIPLEXER DE RECEPCION

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

c) AMPLIFICADOR A DIODO TUNEL

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

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

d) MEZCLADOR

En esta parte son mezcladas las señales de 6 GHz, para convertirlas en señales del orden de los 4 GHz. (abatidas o transpuestas 2225 MHz en banda "C"), en esta misma parte se cuenta con filtros que eliminan las señales espurias indeseables, producto de la mezcla, permitiendo el acceso al amplificador de tubo de ondas progresivas (TWT) a las señales útiles de comunicaciones.

En el caso de que la banda utilizada fuera "Ku", el cambio de frecuencia en el mezclador es de 2300 MHz. En cualquiera de los casos observe que la frecuencia de bajada siempre será menor que la de subida. Esto es así por el hecho de que la señal de bajada está limitada en cuanto a su potencia por la capacidad de las celdas solares que son la única fuente de energía eléctrica disponible en el satélite y considerando que a mayor frecuencia existen más pérdidas de propagación es preferible seleccionar la que tenga menos pérdidas (la de menor frecuencia) para la bajada y lograr que llegue a Tierra con un mayor nivel de potencia que si se escogiera la de mayor frecuencia. En el caso de la señal de subida, el problema no es tan crítico ya que en tierra se dispone de otras fuentes de energía para previamente, compensar las posibles pérdidas.

e) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE BAJA POTENCIA

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

f) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE ALTA POTENCIA

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

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

g) DIPLEXER DE TRANSMISION

Las señales de todos los transponders son combinadas para ser alimentadas a la antena de comunicaciones que se encargará de transmitir la información hacia la Tierra.

IX SUBSISTEMAS DE UN SATELITE Y SUS PRINCIPALES FUNCIONES

INTRODUCCION

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la Tierra; sus subsistemas más importantes se indican en la tabla 9.1.

	Subsistema	Función
1	Antenas	Recibir y transmitir señales de radio frecuencia
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

Tabla 9.1 Principales subsistemas de un satélite y sus funciones

SUBSISTEMA DE ANTENAS

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas (este proceso se limita fundamentalmente a amplificación y conversión de frecuencia, y le corresponde al subsistema de comunicaciones el cual se expone mas adelante) 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 corneta conectadas a guías de onda, que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores. 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 interface 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.

Paradójicamente, una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, que opere a la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica más pequeña. Algo debe obtenerse de una antena grande a cambio de cubrir menos metros cuadrados sobre la superficie de la terrestre; ¿Para qué gastar en tanto material y tener que vencer complicaciones de volumen y peso en el sistema de lanzamiento que lleve al satélite al espacio? La razón es sencilla: cuanto más grandes son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. por otra parte, cuanto más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía; ésta es una característica propia de las antenas parabólicas y, en general, de todas las antenas llamadas “de apertura” (Las antenas de corneta, parabólicas simples y Cassegrain caen dentro de esta categoría), 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 de la frecuencia de operación, o sea, es el número de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca. Por ejemplo, una antena parabólica de dos metros de diámetro que irradia energía a una frecuencia de 11 Ghz, lo hace dentro de un haz de iluminación más angosto que como lo haría si tuviese que operar a una frecuencia de 4 Ghz, simplemente porque cuanto más alta es la frecuencia, la longitud de 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 V tiene ocho antenas para cubrir una vasta extensión territorial e intercomunicarla eficientemente al menor costo posible. De esas ocho antenas, dos son globales, dos hemisféricas, dos de zona y dos puntuales. Las primeras dos son antenas de tipo corneta y cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre que puede verse desde la posición del satélite; es decir, pueden recibir desde cualquier estación transmisora que se encuentre dentro de los límites de esa zona y pueden transmitir también hacia cualquier estación receptora que se halle dentro del mismo contorno. Las otras seis antenas sí son parabólicas. Las zonas más pequeñas son las cubiertas por las antenas de cobertura puntual, que reciben este nombre precisamente porque concentran su potencia casi en un punto, en relación con las dimensiones del planeta; los haces de iluminación de éstas antenas, por ser tan angostos, reciben el nombre de *haces pincel o puntuales*.

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

La huella de iluminación es la intersección de haz radiado por la antena con la superficie de la Tierra. Imagínese una persona que tiene una lámpara de mano que en lugar de proyectar un círculo sobre una pared, o bien una elipse al inclinar la lámpara, proyecta una mancha irregular de luz, por ejemplo, el perfil de una papa. Imagínese ahora un globo gigante transparente e ilumínelo con la lámpara; la intersección del haz de iluminación irregular o de contorno con el globo sería precisamente la huella de iluminación de la lámpara, o sea la cobertura que tienen de una parte de la superficie curva del globo.

Hasta ahora solo 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 ordenes emitidas por el centro de control en la Tierra, para que se efectúe alguna corrección a bordo; también es responsable de enviarle al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todo el satélite, con el fin de que en la Tierra se pueda saber que ocurre en su interior, dónde esta y como está funcionando en general; de esta manera, sus propietarios u operadores puedan realizar las modificaciones necesarias enviando las señales de comando que, como ya se dijo, son recibida por la misma antena.

La antena de telemetría y comando no es parabólica ni de corneta, pues éstas últimas son altamente direccionales (Una antena direccional concentra la mayor parte de su potencia radiada en un haz angosto de iluminación, es decir, en cierta dirección); 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 ésta 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; en la práctica, y en condiciones normales de operación, se prefiere usar las antenas parabólicas del satélite para la transmisión y recepción de señales de telemetría y comando. La antena propia de telemetría y comando juega su principal papel durante el lanzamiento y colocación en órbita del satélite, y por supuesto en cualquier caso imprevisto.

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

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

El diagrama de la figura 9.1 muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. Para mayor sencillez, en el solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones; es normal que algunos de estos equipo se instalen repetidos, o sea, que sean redundantes, para que en el caso que uno de ellos se descomponga, exista aún la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas recepción y transmisión; para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro. A la trayectoria completa de cada repetidor comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de *transpondedor*, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite.

En realidad, cada cadena es mas compleja que lo que se muestra en el diagrama, además de que puede haber ligeras variantes en las etapas de amplificación y conversión de frecuencia, pero lo que se ha incluido por el momento es suficiente para explicar a grandes rasgos cual es su función. 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 (por espacio, se entiende el porcentaje de la potencia total del amplificador y el porcentaje de su ancho de banda que son usados por cada señal) 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, este será más capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias; por ejemplo, si se trata de un equipo de recepción, puede recibir con la misma calidad más canales de televisión, telefonía o datos de otro cuyo ancho de banda de operación sea menor.

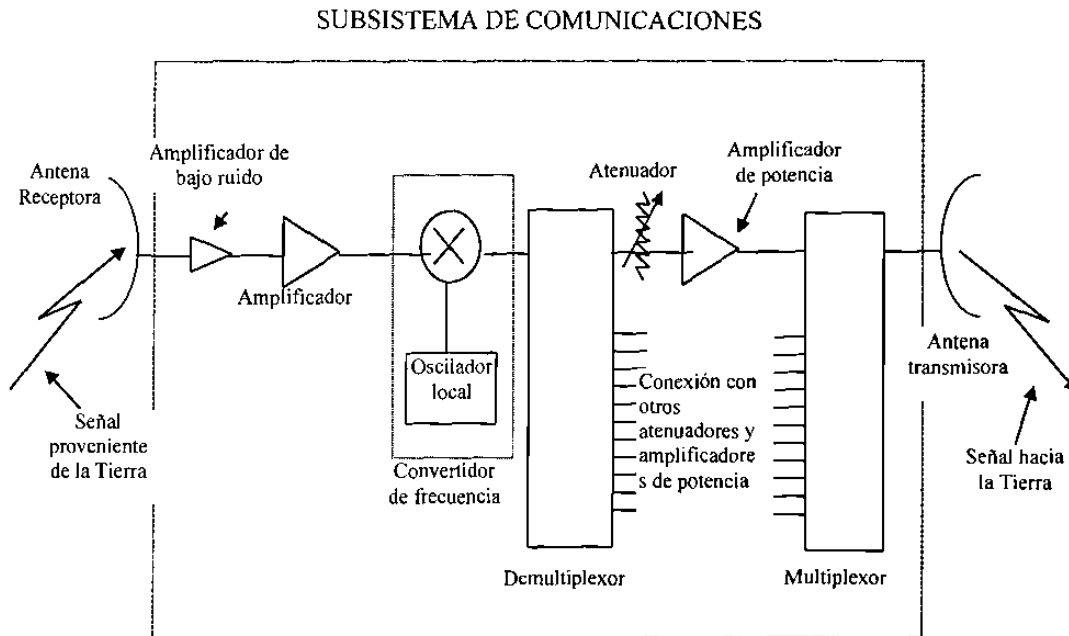


Figura 9.1 Relación entre los subsistemas de antenas y comunicaciones.

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. Es decir, 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 banda “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. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias, pues su ancho de banda de recepción es igual o mayor 500 Mhz, con una frecuencia central de 6.175 Ghz. Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 y 4.2 Ghz; posteriormente, todas las señales contenidas en estas 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, indicando que la señal sube al satélite con frecuencias cercanas a los 6 Ghz y que baja con frecuencias cercanas a los 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 acabo simultáneamente, a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes; estos equipos están contenidos en secciones separadas del subsistema de comunicaciones, puesto que unos están diseñados para trabajar en la banda “C” y otros para hacerlo en la banda “Ku”. Es fácil incluir que éstos 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.

Considérese ahora una trayectoria completa del subsistema de comunicaciones de la figura 9.1, desde que la señal entra al satélite hasta que sale de él, suponiendo que se está transmitiendo un canal de televisión en la banda “C” y en el transpondedor número 4; el canal de televisión puede contener, por ejemplo, una película o un partido de fútbol, y no implica necesariamente que se trate del canal 4 de alguna organización televisora, pues bien puede ser el canal comercial de televisión 6 o 13, o cualquier otro. Simplemente, ese canal está manejándose a través del transpondedor número 4 del satélite. ¿Cómo se enumeran 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 en frecuencia ocupa 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.

En la figura 9.2 se muestra una división usual del ancho de banda de un satélite en 12 ranuras o espacios iguales de 36 Mhz de ancho de banda cada uno. Los espacios libres entre ranuras adyacentes se dejan para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada una contiene. Cada ranura puede trabajar con un canal de televisión independientemente, por lo que la capacidad total del satélite en esta banda “C” de operación sería igual a 12 canales de televisión. También sería posible que en cada ranura cupiesen 2 canales de televisión o cientos de canales telefónicos y de datos. pero éstos son otros casos especiales que no se tratarán por el momento.

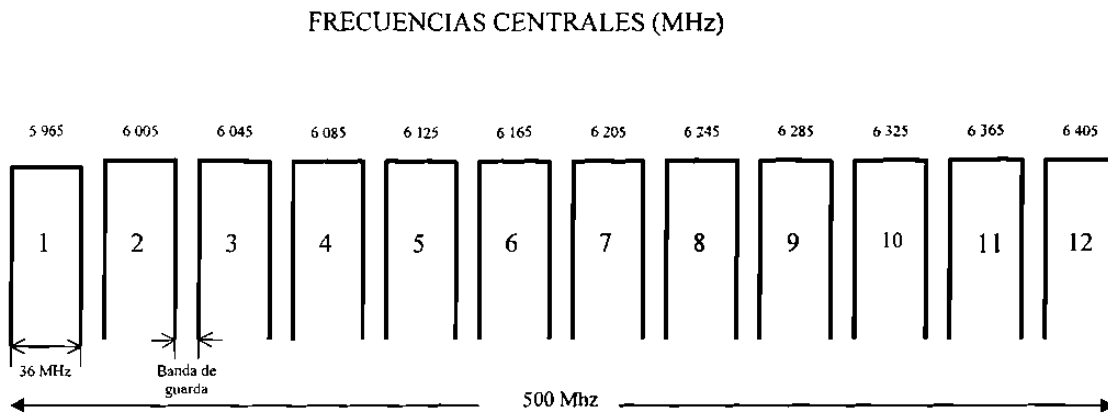


Figura 9.2 Ancho de banda de un satélite que opera en banda "C", dividido en ranuras de frecuencias de 36 Mhz cada una. Cada ranura corresponde a las frecuencias de trabajo de un transpondedor, y las frecuencias centrales que se indican son las que se usan para transmitir de la Tierra al satélite. Para la transmisión satélite-Tierra se hace una división similar del ancho de banda comprendido entre 3.7 y 4.2 Ghz, con sus frecuencias centrales correspondientes.

De acuerdo con la figura 9.2, la frecuencia central del transpondedor número 4 es de 6.085 Ghz; o sea, que ésta es la frecuencia central con la que se estaría enviando el canal de televisión, con la película o el partido de fútbol, de la Tierra hacia el satélite.

La antena receptora del satélite no capta solamente las frecuencias que corresponden al rango del transpondedor número 4, sino todas las frecuencias de los 12 transpondedores. Es decir, por ella entran diferentes clases de señales al mismo tiempo, que bien podrían ser en un momento dado seis o siete canales de televisión, miles de canales telefónicos y algunos canales de datos. Para la antena esto no representa ninguna dificultad, pero no es fácil construir aparatos electrónicos de alta potencia que realicen sus funciones de amplificación óptimamente con todas esas señales al mismo tiempo., aun cuando sí sea posible, la vulnerabilidad del conjunto de comunicaciones aumentaría frente a posibles fallas, al estar todo concentrado en una sola unidad; además, el ruido de intermodulación también aumentaría y siempre estaría presente en todos los casos de operación. Por lo tanto, es necesario aislarlas, para procesarlas y amplificarlas por separado, y ésta es una de las razones principales por la que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores; después del proceso, todas las señales se vuelven a juntar o agrupar, para que la antena transmisora las envíe hacia la Tierra.

Tal como se muestra en la figura 9.1, el primer dispositivo electrónico importante que encuentran las señales recibidas por la antena es un *amplificador de bajo ruido* (a este dispositivo también se le denomina preamplificador de bajo ruido, porque después de él hay otras etapas de amplificación), con poca potencia de salida; este aparato genera internamente muy poco ruido, que se suma a las señales originales que entran en él para amplificación. Todos los dispositivos electrónicos generan ruido, principalmente por su calentamiento; este término se emplea para identificar a las señales nuevas, de diversas frecuencias, que son generadas interna e indeseablemente por el aparato.

Si estas nuevas señales, ajenas a la información original, son muy grandes o intensas, entonces al sumarse con la segunda pueden alterar su contenido. La primera etapa de 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 sí 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.

Hasta este momento, lo único que se ha hecho es aumentar ligeramente el nivel de potencia de las señales. 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 de la figura 9.1 que tiene un sólo conducto de entrada y varios de salida. A él entra la información completa de 500 Mhz de ancho de banda, y en su interior, mediante filtros, se separan los canales en bloques de 36 Mhz cada uno. A continuación cada bloque pasa por una etapa muy fuerte de amplificación, proporcionada por un *amplificador de potencia*, y después todos los bloques son reunidos nuevamente en un sólo conjunto de 500 Mhz de ancho de banda, a través de un *multiplexor*, conectado a la antena transmisora del satélite tal como se indica.

En la misma figura 9.1 se observa que después de cada salida del demultiplexor hay un *atenuador* o resistencia variable; esta sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia, o a la primera etapa de amplificación si es que hay más de una.

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

Cuando los amplificadores de potencia del satélite entregan a su salida el máximo de potencia posible, se dice que están operando en su punto de saturación; para que esto ocurra, la potencia total de las señales que entran a ellos debe tener un valor determinado (véase la figura 9.4). Sin embargo, no siempre es necesariamente deseable obtener a la salida de un amplificador de potencia la máxima posible, es decir, operarlo en saturación, pues como se explica más adelante, todo depende de la clase de información que contenga el bloque que se va a amplificar. Por otra parte, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que llegan al satélite se obtienen mejores resultados en la primera etapa de amplificación (amplificador de bajo ruido), ya que la relación entre la potencia de la señal amplificada y la potencia del ruido térmico generado internamente es mayor, y como la calidad con la que finalmente la señal se recupera en la Tierra depende, ente otros parámetros, de esta relación de potencias, se obtiene entonces una mejor fidelidad. Sin embargo, el alto nivel de las señales amplificadas en esta primer 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* (La Portadora es una señal senoidal de muy alta frecuencia que es modulada por la información que se desea transmitir ó portar sobre ella. Este proceso es necesario para efectos de transmisión y para la ubicación de cada bloque de información dentro del espectro radioeléctrico, de tal forma que no se traslapen entre sí); por ejemplo, un canal de televisión tiene su propia frecuencia portadora, y la combinación de 60 canales telefónicos en un solo grupo también tiene la suya. La misma técnica se utiliza cuando los canales telefónicos no se agrupan, sino que se envían en forma aislada, uno a uno; en este caso, cada canal telefónico tiene asignada una frecuencia portadora distinta. De igual forma, un canal digital que contenga datos, sin importar si es de alta ó de baja velocidad, requiere tener su propia frecuencia portadora. En la figura 9.3 se muestra un ejemplo usual de lo que podría contener un transpondedor de 36 Mhz de ancho de banda, en donde el espacio de frecuencias disponibles es ocupado por cuatro señales similares en amplitud y ancho de banda, con su propia frecuencia portadora; cada señal contiene 192 canales telefónicos agrupados y proviene de una ciudad distinta.

Para el ejemplo anterior, el número de frecuencias portadoras que entrarían al amplificador de potencia sería mayor de uno é igual a cuatro, y como la característica entrada-salida del amplificador es alineal (Fig. 9.4), se producirían internamente muchas señales adicionales é indeseables que a la salida se sumarían a la información original, distorcionándola. Estas 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 ó resistencias variable descritos anteriormente permiten regular la intensidad de las portadoras y entregar menos ó más potencia a la entrada del amplificador (la potencia total de entrada al amplificador es la suma de las potencias de las portadoras), para que a su vez salga de él menos ó más amplificación de potencia, con un nivel aceptable de ruido de intermodulación (véase nuevamente la figura 9.4).

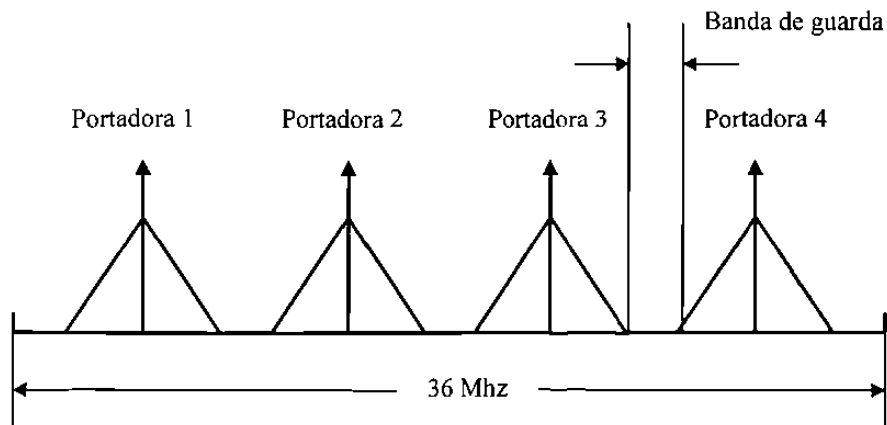


Figura 9.3 Esta sería una posible configuración de la ocupación del espacio de frecuencias de un transpondedor de 36 Mhz. Cada triángulo representa una señal de telefonía que contiene 132 canales telefónicos individuales y tiene asignada su propia frecuencia portadora. La banda de guarda entre señales adyacentes se deja para reducir la interferencia entre ambas, y su ancho siempre es función del tipo de señales que vayan a sus lados.

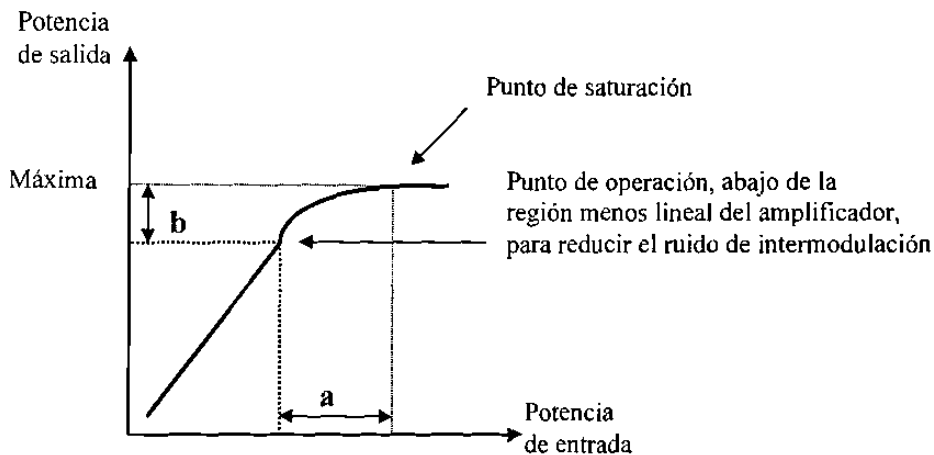


Figura 9.4 Curva característica a lineal de entrada-salida de un amplificador de potencia; **a** es la reducción necesaria de la potencia de entrada respecto al valor que satura al amplificador, para poder trabajar en el punto de operación, y **b** es la reducción que se obtiene en la potencia de salida respecto a la potencia máxima que se obtendría en saturación.

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 quieran amplificar con el mismo dispositivo al mismo tiempo, será preciso operar en un punto cada vez más bajo del de saturación, y será menor la cantidad de potencia que se pueda aprovechar a la salida. Este problema del ruido de intermodulación también se tiene en los amplificadores de potencia de las estaciones terrenas transmisoras.

El diagrama de bloques de la figura 9.1 es muy básico, y puede haber distintas versiones, con ligeras modificaciones como las que se muestran en la figura 9.5. En ella se observa que ya no hay solamente un demultiplexor y un multiplexor, sino 2 de cada uno, con una capacidad igual a la mitad de la que tienen los de la figura 9.1 la potencia de la señal combinada de 500 Mhz de ancho de banda que sale del convertidor de frecuencia se divide en dos y cada parte resultante entra a uno de los demultiplexores; por medio de filtros, el demultiplexor 1 solo permite el paso a los canales impares, y el demultiplexor 2 hace lo mismo con los canales pares; cada uno de estos canales impares ó pares tiene un ancho de banda standar de 36 Mhz, aunque también puede haber otros 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 de la figura 9.2 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 1 salida y los canales pares son tratados igualmente por el multiplexor 2, como se ve en la figura 9.5, 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. Los niveles de interferencia se reducen aún más si se cambia la polarización de las señales antes de retransmitirlas; por ejemplo, las señales que llegan al satélite con polarización vertical son regresadas hacia la tierra con polarización horizontal y viceversa.

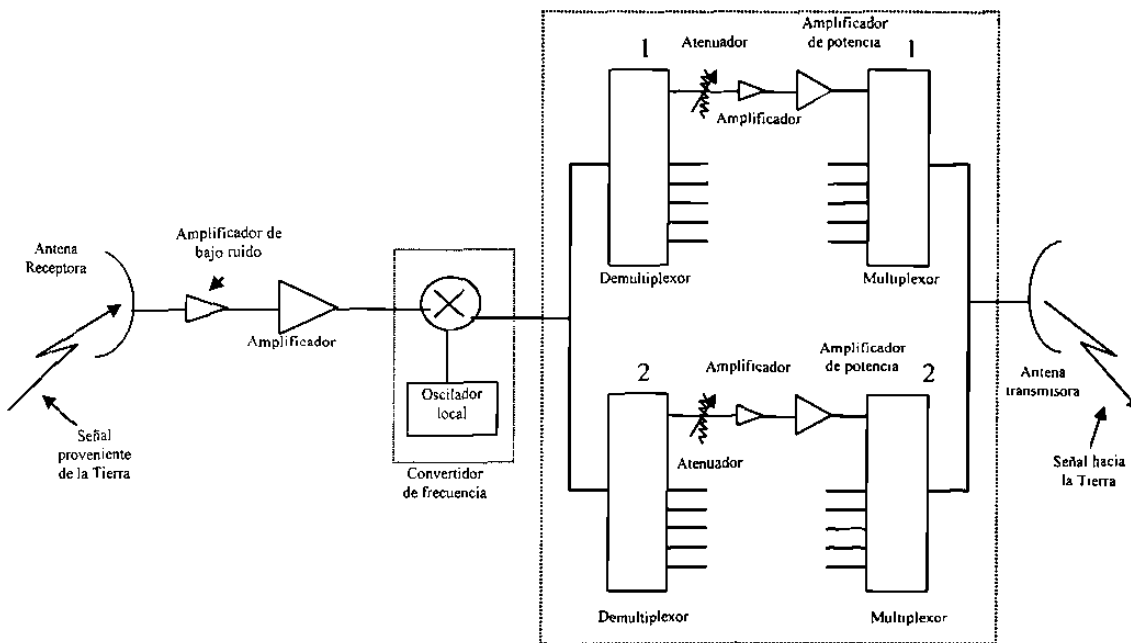


Figura 9.5 Versión modificada del diagrama y equipos del subsistema de comunicaciones. A diferencia del anterior, se utilizan 2 demultiplexores y 2 multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la interferencia.

En la figura 9.6 se muestra el plan de frecuencias y polarización de un satélite Spacenet. El satélite es híbrido; tiene 12 transpondedores angostos de 36 Mhz y 6 anchos de 72 Mhz en la banda "C", así como 6 transpondedores de 72 Mhz en la banda "Ku". Las señales de los transpondedores angostos de banda "C" son transmitidas hacia el satélite con polarización vertical y retransmitidas hacia la tierra con polarización horizontal; para los transpondedores anchos de banda "C" se usa polarización horizontal en el enlace de subida y vertical en el de bajada; y en cuanto a los transpondedores en la banda "Ku", las señales suben al satélite con polarización vertical y bajan con polarización horizontal.

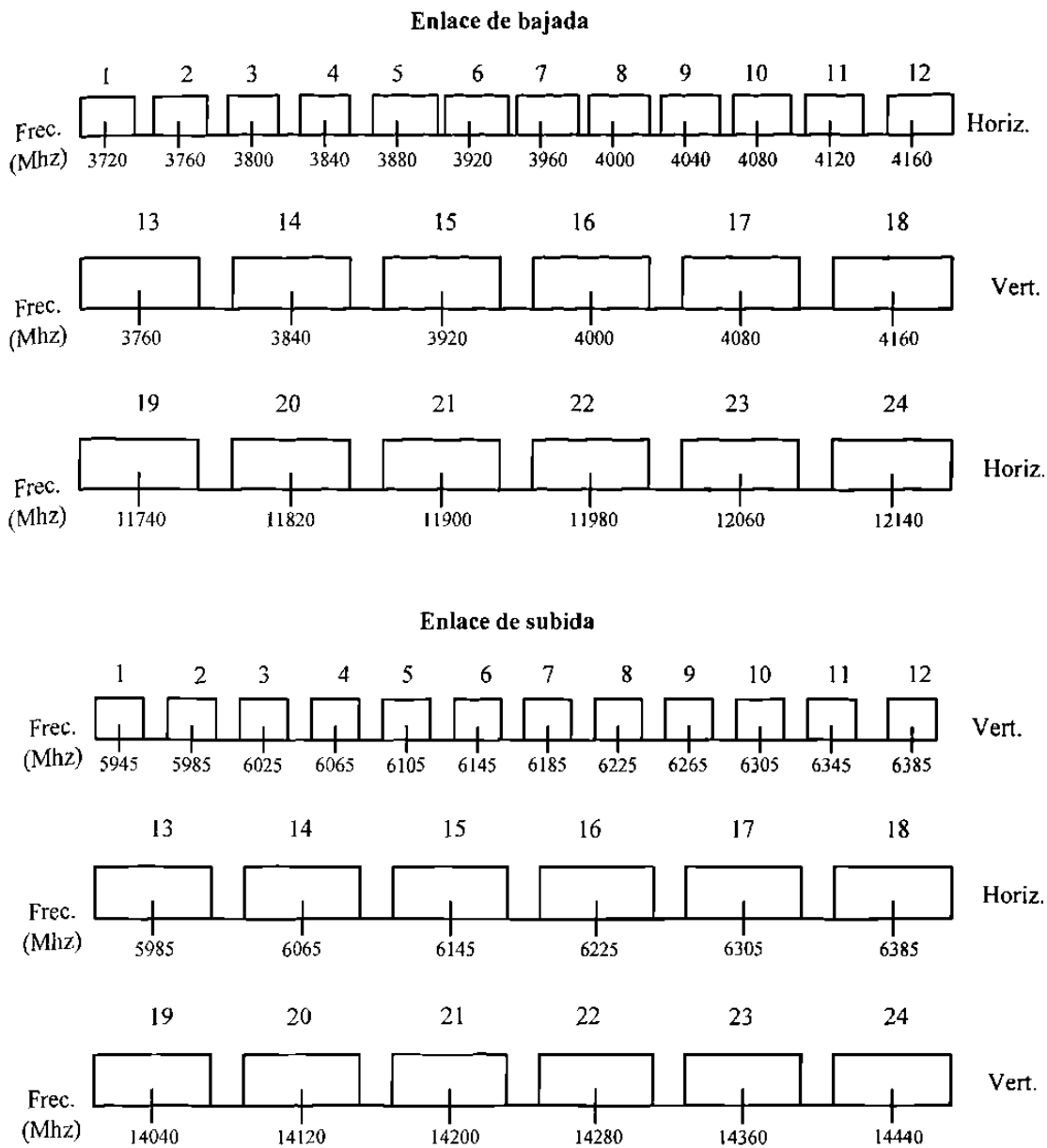


Figura 9.6 Plan de frecuencias y de polarización de un satélite Spacenet.

Hasta aquí se ha hecho referencia a un conjunto de señales de información que provienen de la tierra, ocupan un ancho de banda total de 500 Mhz, son procesadas por el subsistema de comunicaciones de satélite, y finalmente se retransmiten. Estas señales provienen de diversos lugares geográficos y llegan simultáneamente. Por ejemplo, podría tenerse una red de estaciones terrenas enlazada al satélite, en donde cada estación está ubicada en una ciudad ó población diferente; como la de la figura 9.7.

En esta red, las ciudades A, B y C transmiten televisión y telefonía multicanal, la D transmite un canal digital de muy alta velocidad (2 Mbps) que debe ser recibido en muchas otras ciudades sin necesidad de que éstas le respondan, las E, F y G transmiten programas estereofónicos de radio, y las restantes (de la H a la Z), envían canales digitales de baja velocidad (9 600 a 56 000 bps) con destino a B, en donde se concentra toda esa información para procesarla en un centro de cómputo; adicionalmente, otras estaciones también transmiten.

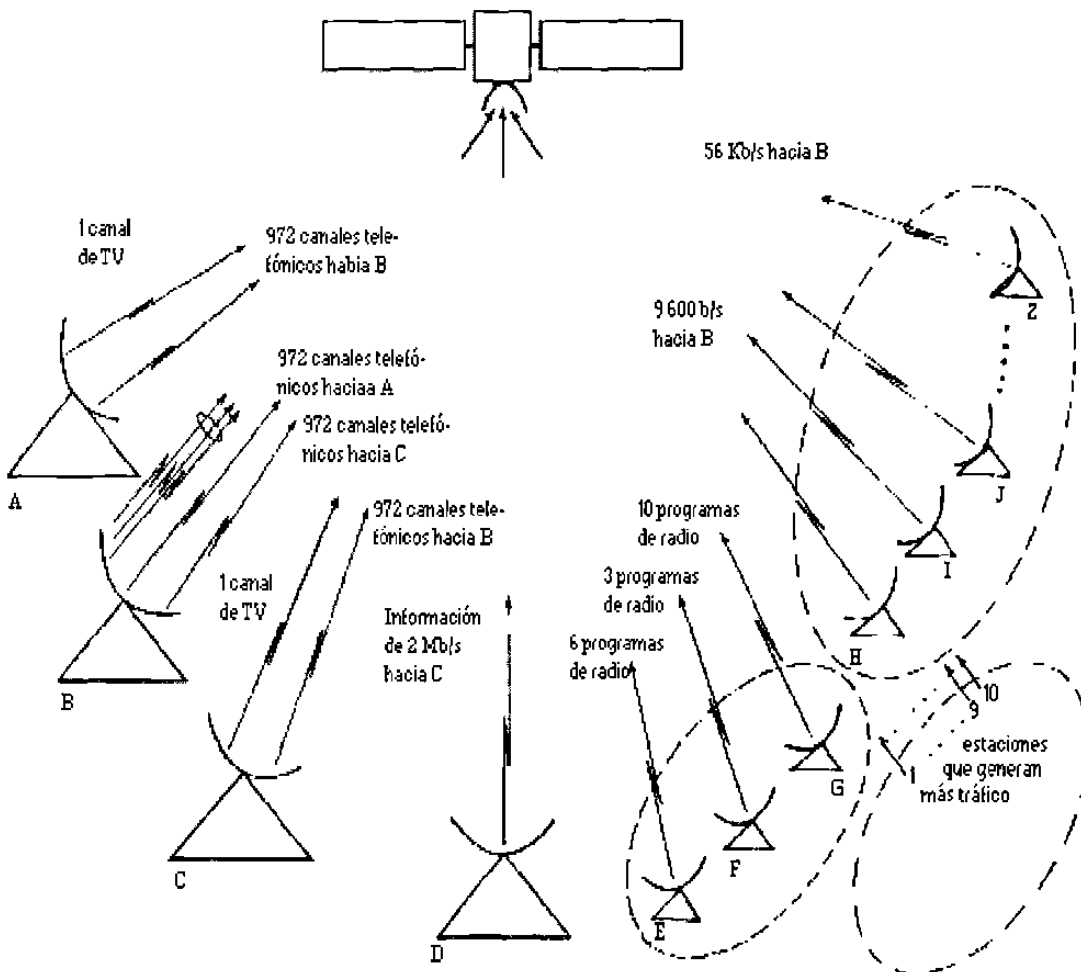


Figura 3.18 Ejemplo de una red de estaciones terrenas enlazadas con un satélite. El ancho de banda total ocupado por todas las señales transmitidas es de 500 MHz.

Con base en el ejemplo anterior, se puede diferenciar entre tres tipos de enlaces: punto-punto, punto-multipunto y multipunto-punto. El primero une solo a dos puntos geográficos, por ejemplo, cuando se tiene una conversación telefónica, en cuyo caso el enlace es bidireccional. El segundo corresponde a un sistema de difusión o distribución de información, en donde la señal es generada en un solo punto, por ejemplo, en un estudio de televisión, en una cabina de radio o en un centro de cómputo, y se desea que sea recibida en muchos otros puntos, sin necesidad de que éstos respondan, o sea que el enlace es unidireccional, en forma de estrella. El tercero es el caso inverso al anterior, en donde en vez de diseminar una información en muchos puntos, se desea concentrarla o recolectarla de éstos en un solo punto específico.

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 de la actualidad.

SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular depende de sus características de operación, y normalmente varía entre los 500 y 2 000 watts. el subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; éste último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

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

Una gran desventaja que 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 15 al 20%, 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 sea sustituido por arseniuro de galio, ya que experimentalmente se ha demostrado que este último material ofrece una eficiencia de aproximadamente 18 %. Con arseniuro de galio se puede obtener un determinado voltaje usando menos celdas conectadas en serie que el número que se requiere cuando se emplean celdas de silicio; además de esto, las primeras tienen la ventaja de que son menos dependientes de la temperatura, pero todavía son muy caras y densas, y pasarán varios años antes de que comiencen a utilizarse en gran escala.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares; cuanto más baja sea ésta, mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas. Cuando el satélite se encuentra a la distancia de una unidad astronómica del Sol. Una unidad astronómica (1 UA) es la longitud del semieje mayor de la órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol, aproximadamente igual a ciento cincuenta millones de kilómetros. La intensidad de la radiación solar sobre sus celdas es de 1 350 watts por cada metro cuadrado de superficie. Si se toma en cuenta que la eficiencia promedio de conversión de electricidad es del 10%, y que un satélite estándar requiere alrededor de un kilowatt de potencia, es evidente que necesita contar con muchos metros cuadrados de celdas solares. Cada celda solar tiene un área de unos 5 cm², y uniendo muchas de ellas en serie y paralelo (figura 9.14) se forma un arreglo solar. Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiaciones, que año tras año van disminuyendo su eficiencia aún más; después de unos 7 años de operación la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a la eficiencia original, aún cuando llevan una cubierta de protección hecha de sílice fundido.

La intensidad y la radiación solar sobre las celdas del satélite no es constante puesto, que éste se acerca ó aleja del Sol junto con la Tierra al desplazarse al rededor de él, completando una vuelta en un año ; cuando el satélite y la tierra se acercan al sol, la intensidad de la radiación solar sobre las celdas aumenta. Además, hay que tomar en consideración que el eje de rotación de la tierra está inclinado con respecto a la eclíptica, y que por lo tanto el ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre la tierra - y sobre la superficie del satélite- cambia según la época del año, conforme ambos orbitan a su alrededor, creándose un movimiento aparente del Sol con respecto a la Tierra y al satélite. Cuanto mayor sea la desviación del ángulo de incidencia de los rayos solares con respecto a una incidencia normal (perpendicular) de referencia, menor es la conversión a energía eléctrica. En resumen, ambos efectos -la distancia del satélite al sol y el movimiento aparente del sol con respecto al satélite- ocasionan que en diferentes épocas del año se tenga más ó menos energía eléctrica disponible, siendo máxima durante los equinoccios y mínima en los solsticios. Como se ve más adelante en la sección de subsistema de posición y orientación, existen dos formas de mantener a los satélites geoestacionarios relativamente estables en lo que concierne a su orientación con respecto a la tierra, a pesar de los efectos mecánicos producidos por las fuerzas perturbadoras. Estas dos formas son la estabilización por giro y la estabilización triaxial con cuerpo fijo.

Los satélites estabilizados por giro son cilíndricos y llevan las celdas 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 asemeja a un cubo ó caja, y normalmente emergen dos largos y planos paneles solares de sus costados, en forma de alas. Esta configuración se asemeja a un ave suspendida en el espacio con las alas extendidas, por lo que es común referirse a un satélite como “pájaro electrónico”.

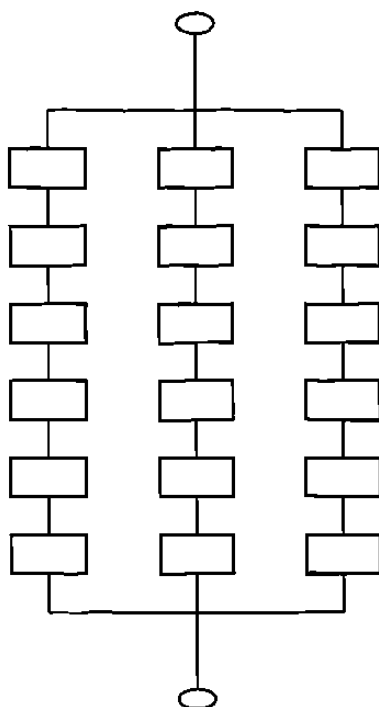


Figura 9.14 Ejemplo de una conexión de celdas solares en serie y paralelo.

En el caso de los satélites estabilizados por giro ó 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 este 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, 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.

Con base en lo anterior, es razonable preguntarse porque se usan los satélites estabilizados por giro; hay varias razones para hacerlo en algunos casos. La disponibilidad de contar con más energía eléctrica en un satélite de estabilización triaxial es desde luego muy atractiva, pero hay ciertas desventajas que deben considerarse antes de tomar una decisión. Por un lado existe el grave riesgo de que poco después de colocar el satélite en órbita sus paneles solares -que van replegados en el momento de lanzamiento- no se extiendan ó que no puedan ser reorientados, por la falla de algún mecanismo. Problemas como éste ya han ocurrido en algunas ocasiones, por ejemplo, con satélites de la India y de la liga de países Arabes. Aunado a esto, los diseños del subsistema de control térmico y la parte de inyección de combustible del subsistema de propulsión son más sencillos en un satélite estabilizado por giro que en uno de estabilización triaxial. Por esta razón no podemos concluir que tipo de satélites sean mejor que otro.

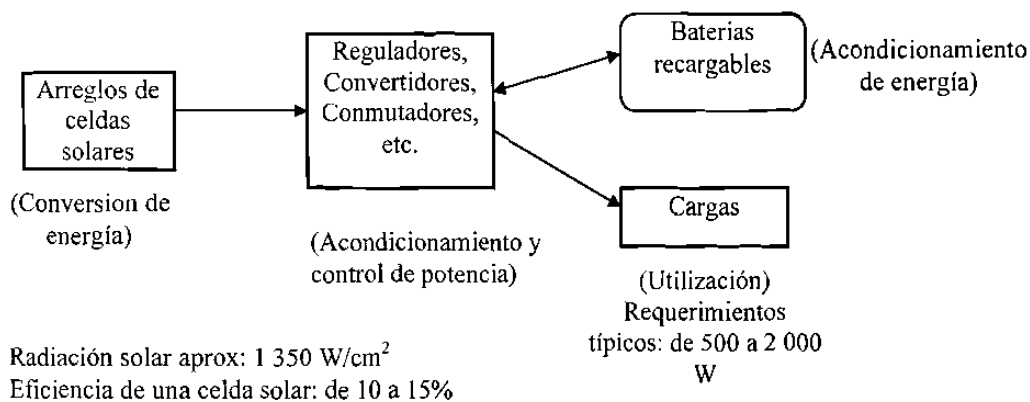
Durante toda su vida de operación, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos necesita obtener su energía eléctrica de alguna otra fuente que no sea el Sol para poder seguir funcionando; esta fuente secundaria o de respaldo la constituye un conjunto de baterías, que se cargan cuando las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

Cuando ha transcurrido precisamente la mitad de cada uno de los eclipses, la hora local terrestre en la longitud geográfica sobre la que está colocado el satélite es medianoche; obviamente, el satélite no tuviese baterías, el servicio se vería interrumpido alrededor de esa hora, durante el tiempo que durase el eclipse. Sin embargo, alrededor de la media noche todavía hay una alta demanda del servicio del satélite, por lo que desde un principio, cuando se le coloca en órbita, conviene situarlo en una longitud geográfica desplazada hacia el oeste con respecto a la zona geográfica de servicio; de esta forma el eclipse ocurre en realidad un poco más tarde.

Las baterías que más se utilizan en los satélites geoestacionarios de comunicaciones son de níquel-cadmio; su eficiencia de potencia/peso es baja, pero se prefieren porque son muy confiables y de larga duración. Sin embargo, algunos satélites utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen importantes ventajas tecnológicas y que quizás poco a poco las han ido reemplazando.

Hay otros tipos de baterías que se estuvieron investigando, por ejemplo, de plata-hidrógeno, litio y sodio, que en la actualidad seguramente ya se esta utilizando alguna variante de estas investigaciones.

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



Configuración básica del sistema de energía eléctrica de un satélite

Celdas solares

- **Silicio:**
 Convencional
 Eficiencia: aprox. 12%
- **Arseniuro de Galio (GaAs):**
 Estado de arte
 Mayor eficiencia (aprox. 16%)
 Mayor masa/quebradiza

Baterías

- **Niquel-Cadmio (NiCd):**
 Convencionales
 Pesadas
- **Niquel-Hidrógeno (NiH₂):**
 Estado de arte
 Doble eficiencia por Kg.

SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO

Se indicó anteriormente 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 de la temperatura, es el calor generado constantemente por el satélite en su interior, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe el 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, menor el radiado por el satélite hacia el exterior, se debe mantener lo más constante posible, con pocas variaciones, de tal modo que el satélite funcione íntegra y correctamente. El control de este balance térmico es también muy importante cuando ocurre un eclipse, pues el satélite se enfría bruscamente al quedar en la oscuridad, y cuando está de nuevo expuesto a los rayos del Sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

La transferencia de calor sobrante del satélite al vacío se efectúa por radiación; en su interior también se produce una ligera transferencia de calor en sus partes, pero por conducción en la estructura. Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en el diseño de satélites tienen a su alcance gran variedad de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato.

Por ejemplo, una sección del satélite va cubierta con un reflector 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 los amplificadores de potencia- se colocan junto a él. Por otra parte, los módulos del interior, así como el subsistema de antenas que va al exterior, van cubiertos con algún tipo de material plástico aislante que los protege del calor o de los cambios bruscos de temperatura; así, por ejemplo, las antenas parabólicas van cubiertas por 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. Así, por ejemplo, la pintura blanca absorbe la radiación infrarroja de la Tierra, pero rechaza el flujo solar; su emitancia es muy alta y su absorbencia muy baja, de manera que se comporta como un elemento frío frente al Sol. Por otra parte, la pintura negra también tiene una emitancia alta, pero al mismo tiempo posee una absorbencia muy alta, y cuando está expuesta al Sol su temperatura es superior a los 0°C, a diferencia de la pintura blanca cuya temperatura puede ser inferior a los -50°C. Entre otros acabados, también se utiliza en algunas secciones la pintura de aluminio; por tener una emitancia más baja que la pintura negra, así como una absorbencia también baja, las zonas recubiertas con pintura de aluminio son más calientes en la oscuridad -o sea, donde no inciden los rayos del Sol- de lo que serían si tuviesen un terminado con pintura negra. Es así, mediante la combinación de materiales y colores, y con el auxilio de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva dentro de un nivel aceptable de temperaturas durante la mayor parte del tiempo.

Sin embargo, el equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse, pues en ese momento desaparece la contribución del calor proveniente del Sol, así como el albedo cuya influencia es mucho menor, modificándose la temperatura resultante total. Si no se tomara alguna medida de protección para estas condiciones especiales, el satélite sufriría un cambio térmico muy fuerte, enfriándose a tal grado que las componentes más sensibles a las bajas temperaturas dejarían de funcionar correctamente; unos de los elementos más sensibles al frío son las baterías, que irónicamente son las responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante el eclipse, y por lo tanto es preciso contar con algún sistema de calefacción que se encienda cuando la temperatura comience a bajar en forma significativa. Para tal efecto se utilizan caloductos que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Los caloductos operan bajo el principio de la evaporación y condensación sucesivas de algún fluido en los extremos de un ducto; en el extremo donde está la fuente de calor -los amplificadores de potencia- el fluido se evapora, y en el otro se encuentra un radiador que transmite el calor al exterior del ducto, hacia las partes frías; esto ocasiona que el fluido se condense, pero al recircular en el interior del caloducto pasa nuevamente a la condición de evaporación, y así en forma sucesiva.

SUBSISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la Tierra y retransmitirlas hacia otra a través de su subsistema de antenas direccionales, que por supuesto deben estar permanentemente bien orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Para que tal situación se logre, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de la Tierra, lo cual se obtiene mediante las técnicas de *estabilización por giro* o de *estabilización triaxial*.

Con la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite -o en algunos casos toda la estructura- gira para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la Tierra. En los primeros satélites que utilizaron antenas de haces direccionales, éstas se hacían girar en sentido contrario al giro de cuerpo cilíndrico del satélite, de tal forma que en realidad no se movían con relación a la superficie terrestre. Sin embargo, esta solución perdió practicabilidad al ir revolucionando las generaciones de satélites, y hoy sólo una parte de su cuerpo gira mientras que el resto de la estructura -que a las antenas- se mantiene fijo; la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción. Este mecanismo se denomina BAPTA; posee rodamientos para la interface mecánica, anillos conductores para la transferencia de energía eléctrica de una sección a otra y motores que controlan la velocidad relativa entre las dos secciones. El satélite, al girar sobre su eje -que es paralelo al de rotación de la Tierra- se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadoras descritas anteriormente.

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.

Independientemente del tipo de estabilización que se use, las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie de la Tierra. Por lo tanto, es preciso poder determinar, de alguna manera y en todo momento, dónde está el satélite y cual es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en que dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra (el centro de control). La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que éste retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las fases de la señal transmitida y la recibida es un indicador de lo lejos que se encuentra. La medición del ángulo o la dirección en la que se halla se puede hacer por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas.

La técnica de máxima recepción es otra alternativa para medir el ángulo, y tiene la ventaja de que sólo requiere una estación terrena y no dos; opera bajo el principio de orientar la antena hacia el satélite e ir la moviendo poco a poco hasta que se detecte el nivel máximo de radiación, se considera que la antena de la estación terrena está perfectamente orientada hacia el satélite, por lo tanto se puede conocer la dirección o ángulo en que éste se encuentra.

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

La precisión que ofrecen los sensores solares y de Tierra en la determinación de la orientación de un satélite es relativamente aceptable en la mayor parte de los casos, pero en las nuevas generaciones ya se está añadiendo otro tipo de control que permite mejorarla por un factor de 2 o hasta 3. El nuevo método utiliza sensores de radiofrecuencia, que detectan y miden las características de radiofaros o señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena; los sensores determinan con gran precisión la diferencia angular que hay entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la línea o trayectoria de las ondas de radio 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; el flujo de la información correspondiente se realiza por el subsistema de rastreo, telemetría y comando que se describe más adelante. Entre otros tipos de actuadores, se cuenta con los volantes o giroscopios, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par correctivo; asimismo, hay bobinas que generan un momento magnético mediante una corriente eléctrica cuando ésta interactúa con el campo magnético de la Tierra, produciéndose así el par deseado de corrección; en ambos casos, sin embargo, la magnitud que se puede obtener en los pares generados de corrección es poca, y por consiguiente estos dispositivos son poco empleados como actuadores.

Hay varios tipos de volantes estabilizadores, entre ellos, inerciales, de momento, y de reacción con cojinetes magnéticos. Los más comunes, y que proporcionan niveles importantes en la magnitud de los pares necesarios de corrección, son los propulsores.

SUBSISTEMA DE PROPULSION

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

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa necesaria para producir un incremento de velocidad determinado mayor es el impulso específico del propelente. El impulso específico se puede definir como el empuje aplicado o producido por cada unidad de peso del propelente que se consume cada segundo; en consecuencia, tiene dimensiones de tiempo y se expresa en segundos. Es de esperarse que si se desea reducir al mínimo posible el peso total del combustible almacenado en el satélite, para economizar en los costos del lanzamiento, es deseable utilizar propulsores que funcionen con combustible de impulso específico muy alto; para efectuar las correcciones de posición y orientación del satélite que requiere aplicar empujes de duración determinada hasta obtener el incremento de velocidad necesario en la dirección deseada.

El principio básico mediante el cual operan los propulsores químicos es la generación de gases a muy alta temperatura en el interior de una cámara mediante la reacción química de propelentes, y los gases se aceleran al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo poco a poco en su área transversal y después se ensancha. Los primeros sistemas de control a reacción utilizaban gases fríos como el nitrógeno y el peróxido de hidrógeno; sin embargo, su impulso específico era muy bajo -del orden de los 70 segundos- y muy pronto fueron sustituidos por la **hidrazina monopropelente**, la cual goza de mucha popularidad. En este último tipo de propulsión, la hidrazina (N_2H_4) es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un canalizador; como resultado, la primera se evapora y se descompone exotérmicamente en una mezcla de nitrógeno, hidrógeno y amoníaco, a temperaturas del orden de $300^\circ C$ y con un impulso específico de unos 225 segundos. El impulso específico se puede mejorar incrementando la temperatura de los gases mediante algún sistema de calentamiento resistivo, después de la descomposición catalítica, hasta unos $1900^\circ C$, y antes de que escapen por la tobera; de esta forma, el impulso específico aumenta hasta unos 300 segundos (figura 9.15). Este importante incremento permite reducir la masa de propelente en el satélite antes de lanzarlo y colocarlo en órbita, pero a costa de un consumo mayor de energía eléctrica, pues hay que calentar la cámara de catalización.

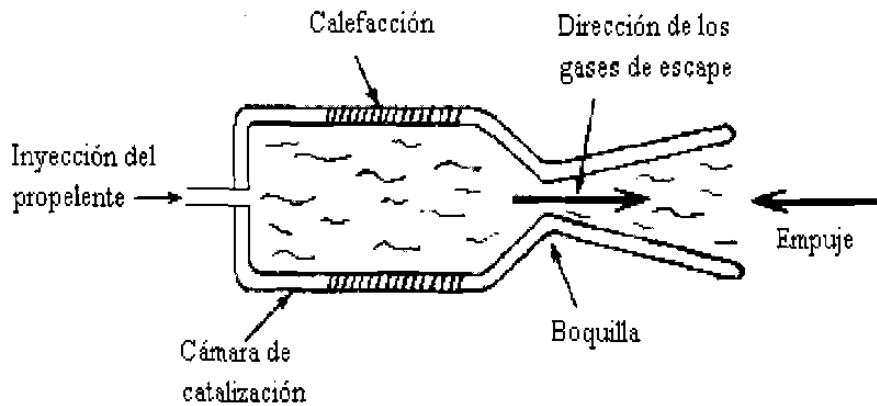


Figura 9.15 Cámara de catalización y boquilla de escape de un propulsor monopropelente.

Existe cada vez más la tendencia a utilizar sistemas **bipropelentes**, en los que no se emplea un catalizador, sino que dos propelentes distintos -un combustible y un oxidante- se ponen en contacto. Al unirse las dos sustancias, se produce una combustión instantánea sin necesidad de algún sistema de ignición (a este tipo de propelentes se les llama hipergólicos); de estas sustancias, las más populares son la hidrazina monometílica (combustible) y el tetróxido de nitrógeno (oxidante), que al combinarse producen un impulso específico del orden de 300 segundos. La ventaja o atractivo que ofrecen los propulsores bipropelentes es que permiten diseñar un sistema unificado de propulsión que a la vez sirva para colocar al satélite en su órbita definitiva tanto como para realizar las maniobras de corrección de orientación y posición durante todos sus años de vida, utilizando para ello los mismos tanques de almacenamiento. Esta versatilidad conlleva algunos ahorros en la masa total del satélite, al no ser ya necesario un subsistema de control a reacción independiente en combinación con un motor de apogeo de combustible sólido. Algunos satélites utilizan la configuración bipropelente, pero su diseño es más complejo que el de los sistemas que emplean un motor de apogeo y un subsistema de propulsión separados.

En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, 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, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y de cesio.

SUSBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO

Este sistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de prueba, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas por una señal digital que el satélite transmite hacia la Tierra con una velocidad baja, que se encuentra entre 200 y 1000 bps, 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.

La transmisión de las señales de telemetría y la retransmisión de los tonos de rastreo hacia la Tierra se realiza a través de un mismo amplificador a bordo del satélite, al igual que con las señales de comando que se hayan recibido, para que se verifiquen antes de que sean ejecutadas (fig 9.16). Durante los varios años de vida operacionales del satélite, este amplificador es el mismo de alguno de los transpondedores empleados para las comunicaciones en general, ya que las señales transmitidas y recibidas por el subsistema de telemetría, rastreo y comando ocupan muy poco ancho de banda y pueden compartir el mismo amplificador de banda "C" o "Ku" con otro tipo de señales de comunicaciones. Solamente durante las maniobras de colocación en órbita es como utilizar un amplificador que funcione a frecuencias más bajas que las de la banda "C" o "Ku"; en esta etapa importante de su lanzamiento se emplean las bandas de VHF y S, cuyas frecuencias son, respectivamente, de aproximadamente 140 Mhz y 2 Ghz, las transmisiones y recepciones se efectúan a través de la antena de rastreo, comando y telemetría.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura, o bien -durante la colocación en órbita- extender los paneles solares, mover las antenas y encender el motor de apogeo. Todas estas señales de comando van codificadas, por cuestiones obvias de seguridad, y la mayor parte de los sistemas que operan actualmente utilizan una secuencia en la que el satélite primero retransmite al centro de control los comandos que haya recibido, éstos son verificados en la Tierra, y si se comprueba que las órdenes fueron recibidas correctamente, entonces el centro de control transmite una señal de ejecución. Al recibirla, el satélite procede entonces a efectuar los cambios ordenados.

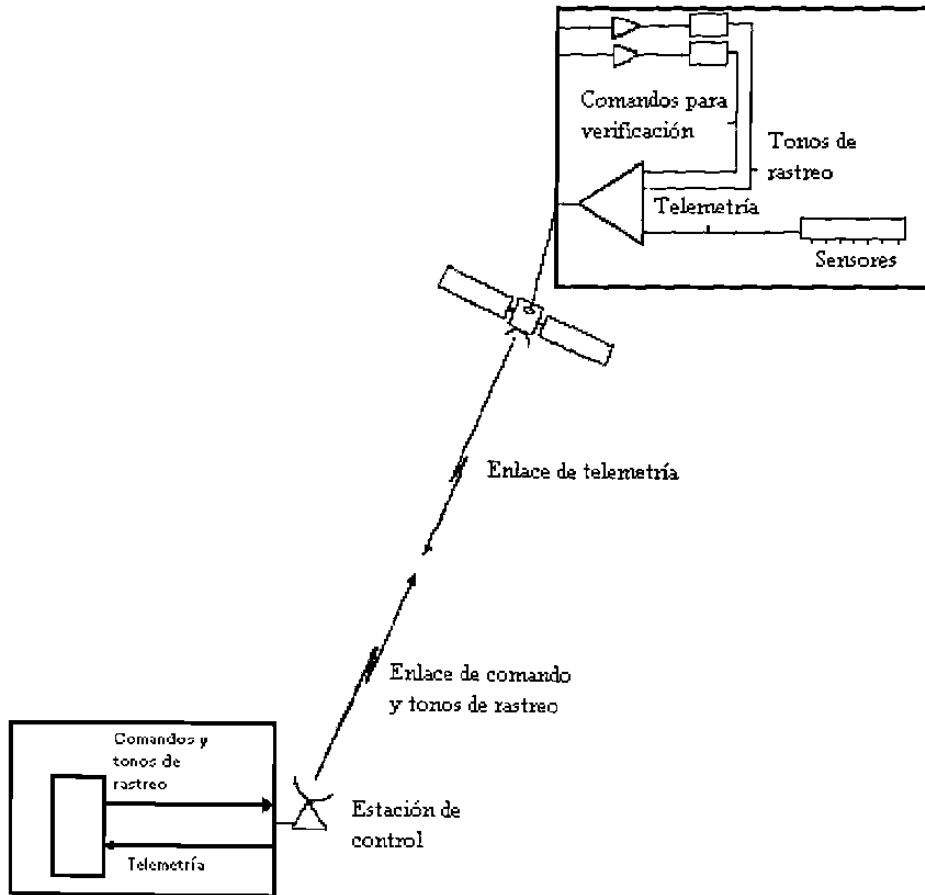


Figura 9.16 El subsistema de rastreo, telemetría y comando permite conocer y controlar la operación, posición y orientación del satélite.

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.

Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita, el satélite se enfrenta a vibraciones, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos, fuerzas centrífugas, empujes de los propulsores y esfuerzos mecánicos -cada vez que se desprende alguna etapa del cohete que lo transporta, o de él mismo. Cuando llega a su posición orbital final, y tal como ya se ha indicado, el satélite se ve afectado por impactos de micrometeoritos, presiones de radiación de las antenas, fuerzas de atracción de la Tierra, la Luna y el Sol, y empujes generados por su propio subsistema de propulsión. En consecuencia, tanto la estructura del satélite como cada una de las demás partes que lo componen deben diseñarse para que soporten esas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida. Para ello, el diseñador tiene a su alcance una diversidad de materiales para fabricar la estructura, así como muchos conceptos geométricos derivados de la experiencia obtenida en aeronáutica a través de los años.

Los materiales más comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero, y varios plásticos reforzados con fibra de carbón; de éstos, el berilio es el más caro, y por lo tanto su utilización es limitada. Dependiendo del diseño (número y forma de las antenas, tipo de estabilización, número y potencia de los amplificadores, etc.), la masa de la estructura 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 ligereza y ligerez excelentes.

X ENLACE TIERRA-SATELITE-TIERRA

CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA

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

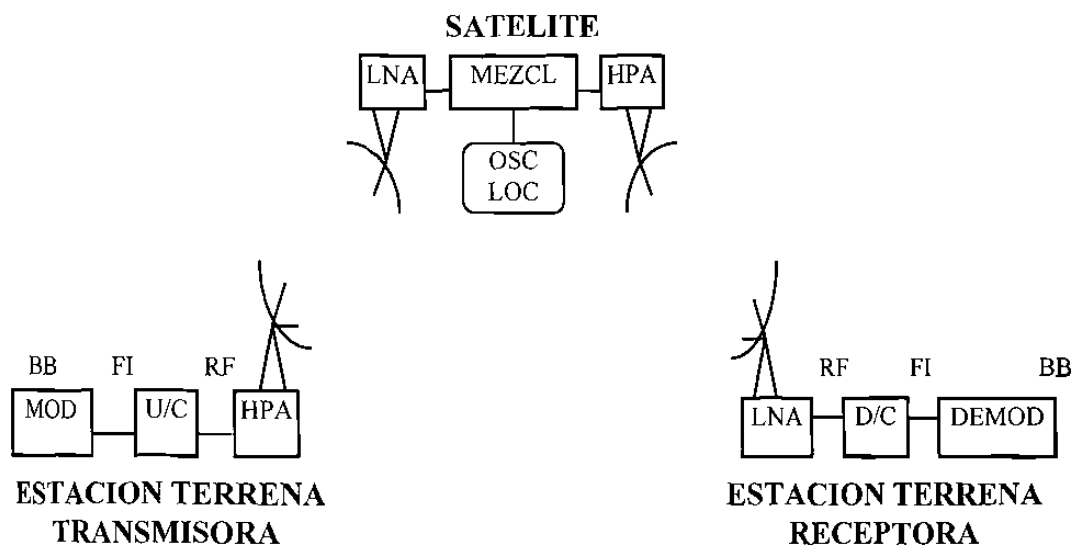


Figura 10.1 Circuito Hipotético de referencia

ESTACION TERRENA TRANSMISORA

- Acometida de la señal a transmitir.
- (Entrada de banda base)
- Modulador
- Convertidor de Subida (U/C, Up Converter)
- Amplificador de potencia (HPA, High Power Amplifier)
- Antena (Transmisora)

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

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

SATÉLITE DE RADIOCOMUNICACIONES

- Antena (Receptora)
- Amplificadores de Bajo Nivel de Ruido (LNA)
- Convertidor de frecuencia (Traslador de Banda)
- Amplificadores de Potencia (HPA)
- Antena (Transmisora)

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

ESTACIÓN TERRENA RECEPTORA

- Antena (Receptora)
- Amplificador de Bajo Nivel de Ruido
- Convertidor de Bajada (D/C, Down Converter)
- Demodulador
- Entrega de la Señal de Banda Base

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

XI ACCESO MULTIPLE

Definición y clasificación

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

Los tres tipos más comunes de acceso múltiple para la transmisión ascendente son:

Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) donde todos los usuarios (Transmisores en Tierra) tienen acceso al satélite al mismo tiempo pero cada uno transmite en su propia y única banda de frecuencias. Esta es la forma de acceso múltiple más utilizada con la modulación analógica, donde las señales están presentes todo el tiempo.

Este tipo de acceso permite recibir al mismo tiempo, señales diferentes, utilizando para ello distintas frecuencias portadoras para que no haya interferencias. Si las sumas de los anchos de banda de estas señales dan un total cercano a los 36 Mhz, entonces dichas señales pueden ocupar el mismo transponder del satélite. Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas, estén no situadas en la misma ciudad, recibe el nombre de acceso múltiple por división en frecuencia, ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a cada una de ellas.

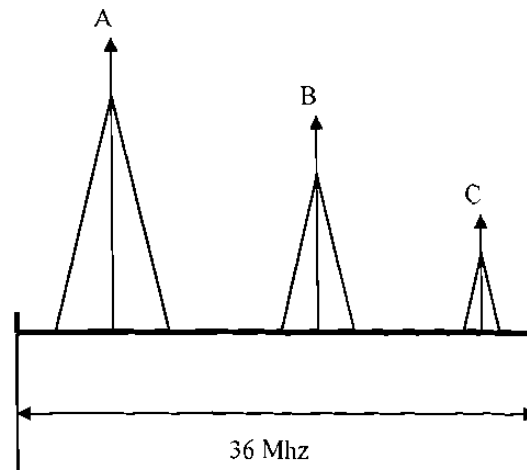


Figura 9.8 Ocupación de un transpondedor de 36 Mhz con acceso múltiple por división de frecuencia; cada señal proviene de una población diferente y tiene su propia frecuencia portadora asignada.

Los transpondedores no deben sobreexcitarse y de esta forma se evita la distorsión por intermodulación y la forma de prevenir es mediante la limitación de la potencia. Si el satélite no opera a su máxima potencia no ocurrirá la distorsión.

Las estaciones terrenas extraen esas señales, multiplexadas mediante la sintonización de su frecuencia correspondiente la cual es pasada al receptor y procesada para extraer la información correspondiente.

Las estaciones terrestres deben siempre de transmitir con la misma frecuencia central ó portadora, también se le llama *acceso múltiple por división de frecuencia con asignación fija*.

Acceso múltiple con asignación por demanda (FDMA): Esta técnica 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 necesita para establecer su comunicación. En el momento en que alguna deja de transmitir, esa ranura se libera y queda disponible para cualquier otra de las estaciones del sistema que sea solicitado temporalmente. Cuando minutos y horas después la estación terrena liberó una ranura y quiera transmitir mas información; podría darse el caso de que la ranura de frecuencia que se 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 este el caso, la estación terrena en cuestión podría utilizar cualquiera de ellas.

Un transpondedor de 36 Mhz puede ser ranurado en 800 secciones capaz de conducir simultáneamente 400 conversaciones telefónicas (400 ranuras se emplean para los canales de ida y 400 para los canales de regreso); cada una de las ranuras tiene su frecuencia portadora y puede ser utilizada temporal e indistintamente por cualquiera de los países que integran el sistema, sincronizándose para ello en un banco central de frecuencias mediante un canal digital de solicitudes.

Canal único: Canal Único por Portadora (SCPC). Este caso de asignación es por demanda y cada ranura tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un sólo canal telefónico modulado.

Portadora multicanal: Portadora Multicanal (MCPC): Una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinados en forma adecuada, con multiplexaje en frecuencia o en tiempo.

Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) donde los usuarios transmiten por "turno" en su propia y única "ranura" de tiempo. Mientras está transmitiendo, cada ocupante tiene el uso exclusivo de uno o más transponders. La naturaleza intermitente del TDMA lo hace particularmente atractivo para modulación digital.

Es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de el.

Todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura con cierto ancho de banda fija, y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo; es decir, cada estación tiene asignado un tiempo "t" para transmitir lo que guste dentro de la ranura, y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que toque nuevamente su turno. No hay división de potencia ni productos de intermodulación en las estaciones transmisoras o receptoras, por lo tanto el transponder puede operar a su potencia completa sin distorsión. La forma en que este sistema trabaja es que cada estación tiene un circuito que almacena su información de salida y mediante un control desde una estación maestra, los circuitos de almacenamiento individuales (buffers) de cada transmisor en el sistema, liberando sus señales almacenadas a muy alta velocidad hacia el satélite.

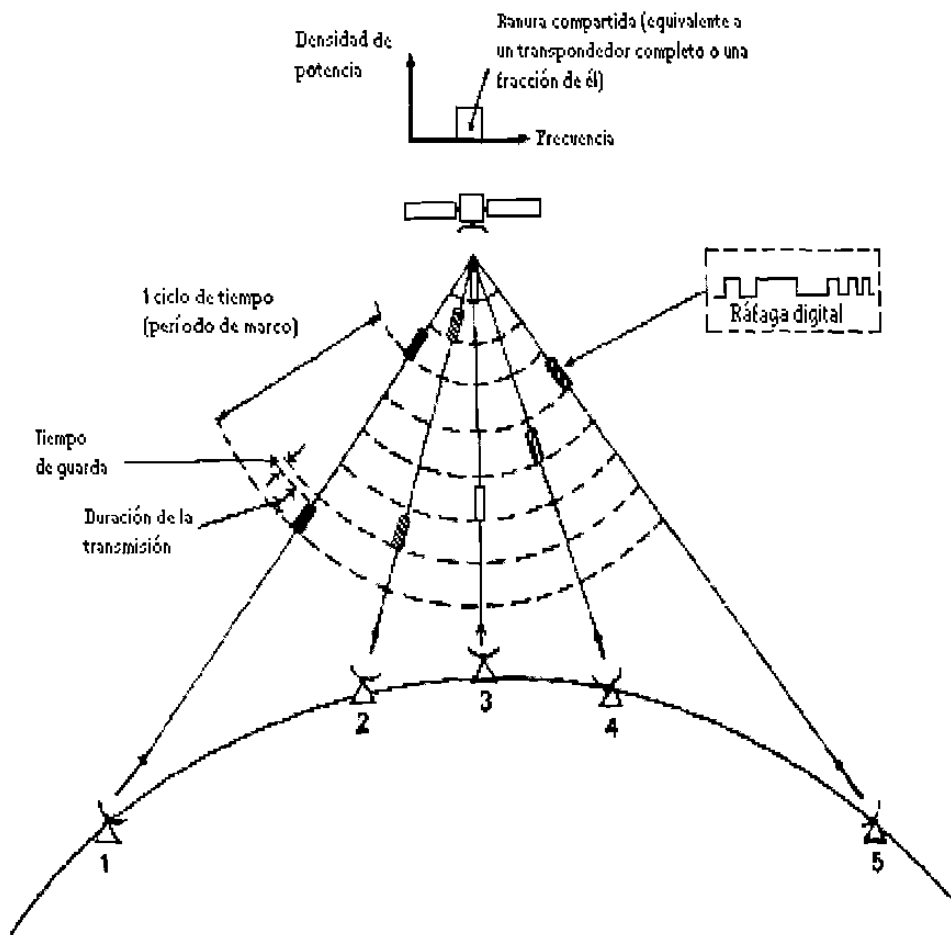


Figura 9.9 Red de 5 estaciones terrenas que comparten una misma ranura de frecuencias en el transponder mediante acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija y tiempos iguales por estación. Todas las estaciones transmiten su ráfaga digital a la misma frecuencia en forma secuencial.

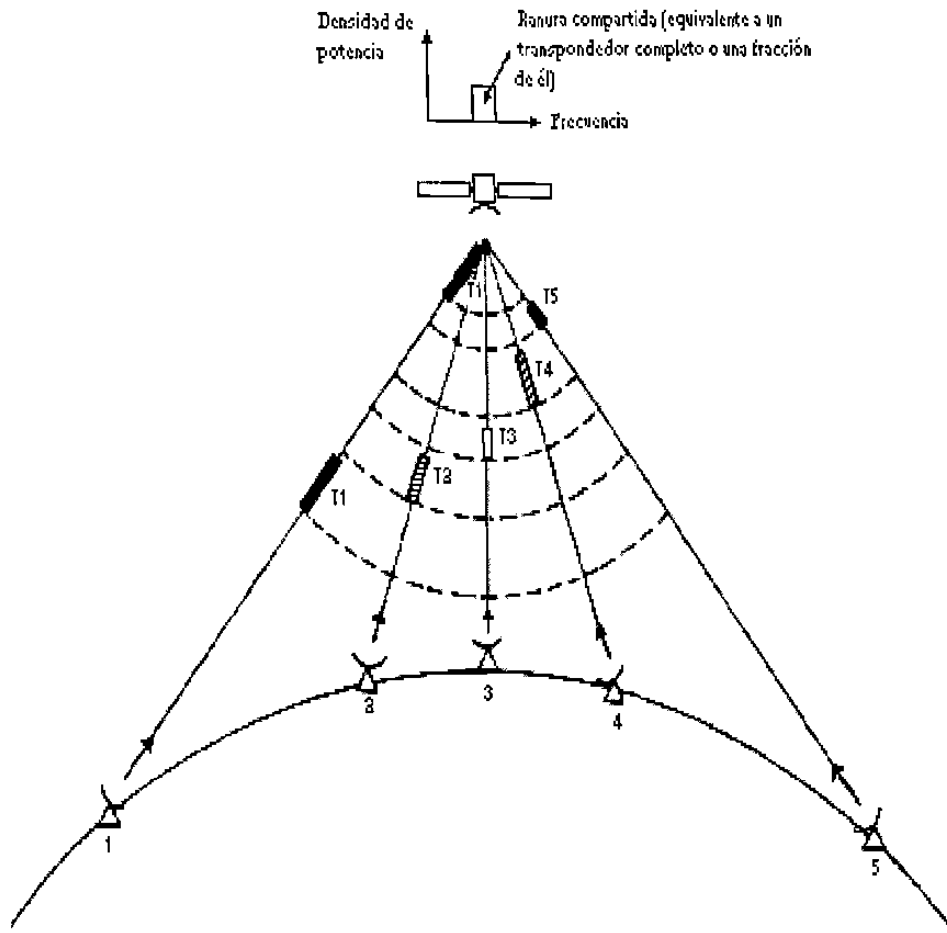


Figura 9.10 Red de 5 estaciones terrenas que comparten una misma ranura de frecuencias en el transpondedor mediante acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija y tiempos T desiguales por estación. Todas las estaciones transmiten su ráfaga digital a la misma frecuencia en forma secuencial.

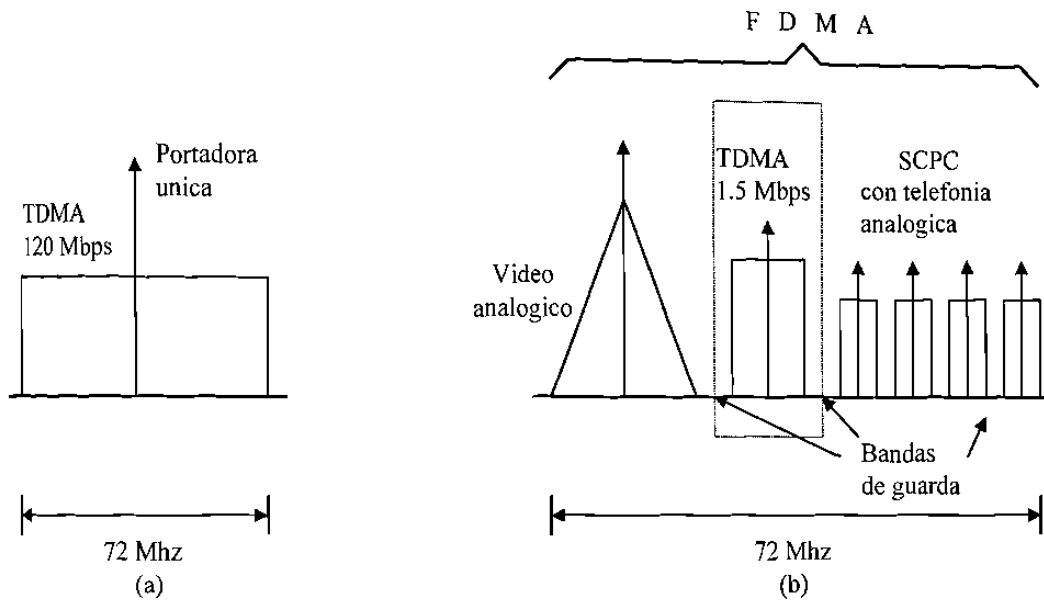


Figura 9.11 Configuraciones de ocupación de un transpondedor de 72 Mhz con TDMA: (a) ocupación completa; (b) ocupación parcial, TDMA de banda angosta compartida con otros servicios en forma FDMA.

Acceso múltiple por diferenciación de código (CDMA) en el cual muchas estaciones terrenas transmiten simultáneamente señales codificadas distribuidas en todo el ancho de banda asignado. Los sistemas descodificados reciben las transmisiones combinadas provenientes de diferentes estaciones y recuperan cada uno de ellos.

No es usado tan extensamente a nivel comercial, pero sí en los campos de seguridad y militares. En este sistema todas las estaciones terrenas transmiten a la misma frecuencia y al mismo instante. Sólo que cada estación transmisora tiene su propio y único código. Presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda (un transpondedor completo) pues cada bit de información como los que se transmiten en la modalidad TDMA se transforma en un nuevo tren de bits y muy largo, de acuerdo a un código determinado previamente.

Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de información; de las estaciones terrenas receptoras, sólo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original, las señales codificadas llegan superpuestas con otras señales que son tomadas como ruido tolerable. También se le denomina acceso múltiple con espectro expandido (SSMA).

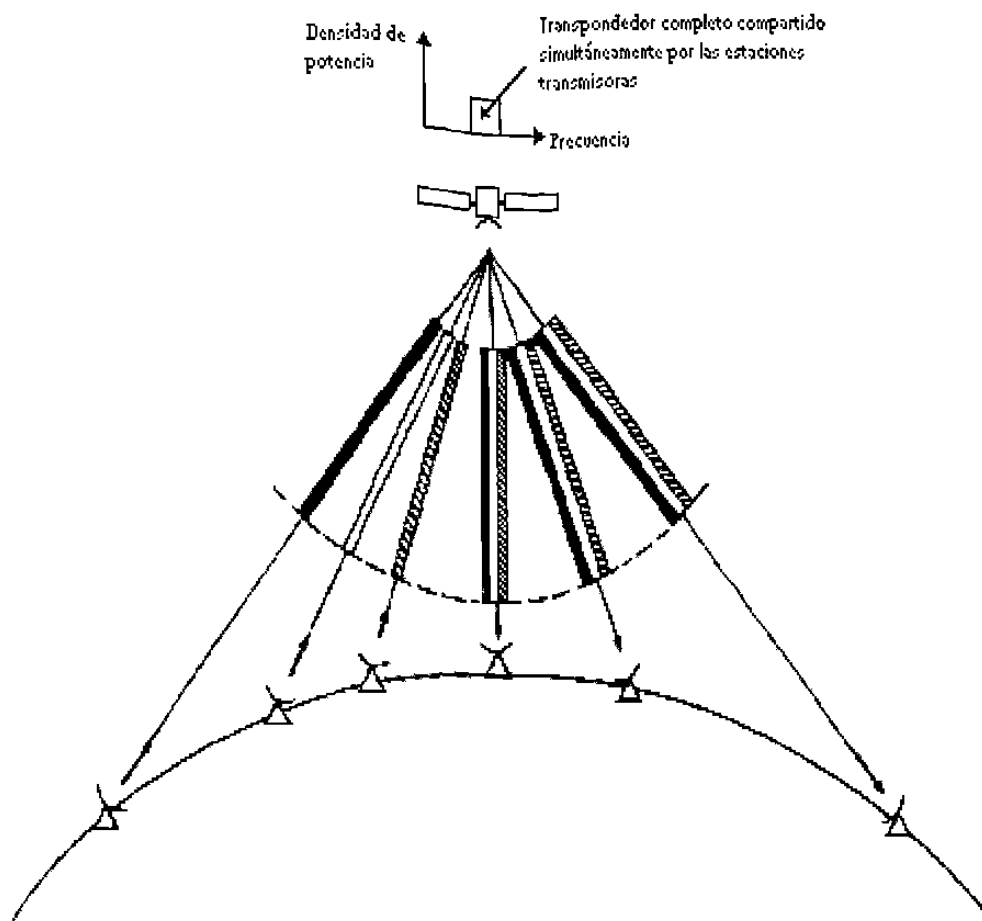


Figura 9.12 Red de seis estaciones terrenas que operan con acceso múltiple CDMA. Las estaciones transmisoras utilizan la misma frecuencia y transmiten al mismo tiempo; las receptoras deben conocer el código de transmisión para reconstruir el mensaje original.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS

Ventajas de FDMA

- No se requiere de sincronización (cada estación transmite independientemente de las otras).
- La asignación de cada canal es simple y directa.

Desventajas de FDMA

Los niveles de potencia de los enlaces ascendentes deben de ser estrechamente coordinados para hacer un uso eficaz de la potencia de salida de microondas de los transponders.

- El sistema está propenso a intermodulación por lo que es necesario reducir la potencia (total del transponder) conforme aumenta el número de portadoras con la consecuente pérdida de eficiencia.

Ventajas de TDMA

- No se comparte la potencia y no se presentan problemas de intermodulación.
- El sistema es flexible en cuanto a la PIRE que cada usuario transmite en cada enlace ascendente.

Desventajas de TDMA

- Se requiere una sincronía perfecta en la red.
- Se requiere de una gran capacidad de almacenamiento si la “trama” es larga.

RUIDO DE INTERMODULACION

Debido a la característica no lineal del TWT del transponder del satélite, cuando se presentan varias portadoras (como en el caso FDMA) se producen productos de intermodulación entre las portadoras afectando la calidad de la transmisión. A estos productos de intermodulación se les da el nombre de “Ruido de intermodulación”.

Cuando dos o más portadoras estén presentes en el mismo transponder, estos productos de intermodulación pueden aparecer como “Traslapes” en el espectro original de frecuencias asignando a cada portadora.

La única manera de reducir el ruido de intermodulación para un TWT dado es disminuir el nivel de la señal de entrada de modo que este pueda operar en la región lineal.

XII RELACION DE SATELITES DE COMUNICACIONES (GEOESTACIONARIOS)

SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN BANDA "C"

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
F-SatI	7° E	Francia
Statsionar-18	8° E	URSS
Nat-Sat 3	14° E	Nigeria
AMS-1	15° E	Israel
Nat-Sat 2	16° E	Nigeria
Arabsat-1A	19° E	Liga de Países Arabes
Nat-Sat 1	20° E	Nigeria
Arabsat-1B	26° E	Liga de Países Arabes
Raduga-17	35° E	URSS
Raduga-19	45° E	URSS
More 53	53° E	URSS
Intelsat VI	57° E	Intelsat
Intelsat VA-F2	60° E	Intelsat
Intelsat V-F5	63° E	Intelsat
Intelsat VI-2	63° E	Intelsat
Inmarsat-2 F3	64.5° E	Inmarsat
Intelsat V-F3	66° E	Intelsat
STW-2	70° E	China
Marisat-F2	72.5° E	Inmarsat
Insat-1B	74° E	India
Gorizont-9	75.7° E	URSS
Statsionar-13	80° E	URSS
Potok-2	80° E	URSS
Insat-IIA	83° E	India
Raduga 20	85° E	URSS
Chinasat-1	87.5° E	China
More-90	90° E	URSS
Gorizont-13	90° E	URSS
Insat-IC	93.5° E	India
Insat-IIB	93.5° E	India

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
Statsionar-14	95° E	URSS
Chinasat-3	98° E	China
Ekran 16 y 17	99° E	URSS
Palapa B1	108° E	Indonesia
Chinasat-2	110.5° E	China
Palapa B2P	113° E	Indonesia
Palapa B3	118° E	Indonesia
STW-1	125° E	China
Statsionar-15	128° E	URSS
Raduga-21	128° E	URSS
CS-2A	132° E	Japón
CS-2B	136° E	Japón
More-140	140° E	URSS
Gorizont-14	140° E	URSS
Statsionar-16	146° E	URSS
Pacstar-1	167.5° E	Papúa-Nueva Guinea
Intelsat V-F1	174° E	Intelsat
Marisat-F3	176.5° E	Inmarsat
Intelsat IVA-F3	177° E	Intelsat
Marecs A	178° E	Inmarsat
Intelsat V-F8	180° E	Intelsat
Intelsat V-F2	1° W	Intelsat
Telecom IC	3° W	Francia
Telecom IB	5° W	Francia
Telecom IIA	8° W	Francia
Telecom IA	8° W	Francia
Statsionar-11	11° W	URSS
Potok-1	13.5° W	URSS
Gorizont-12	14° W	URSS
More-14	14° W	URSS
Marisat F1	15° W	Inmarsat
Inmarsat-2 F1	15° W	Inmarsat
Intelsat V-F6	18° W	Intelsat
Intelsat IVA-F4	21.5° W	Intelsat
Avsat 1	22° W	EE.UU./Aeron. Radio
Intelsat VA-F10	24.5° W	Intelsat
Raduga-18	25° W	URSS
Inmarsat-2 F2	26° W	Inmarsat
Marecs B2	26° W	Inmarsat
Statsionar-17	26.5° W	URSS

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
Intelsat VA-F11	27.5° W	Intelsat
Intelsat V-F4	34.5 W	Intelsat
TDRS A	41° W	EE. UU./NASA
PAS 1	45° W	EE. UU./PanAmSat
Finansat 2	48° W	EE. UU./Financial Sat
Intelsat V-F3	53° W	Intelsat
PAS	57° W	EE. UU./PanAmSat
Avsat 2	58° W	EE. UU./Aeron Radio
Satcom 6	62° W	E. U./GE Americom
ASC-3	64° W	E. U./American Sat
ASC-4	64° W	E. U./American Sat
Brasilsat-1	65° W	Brasil
Spacenet-II	69° W	E. U./GTE-Spacenet
Brasilsat-2	70° W	Brasil
Satcom 2R	72° W	E. U./RCA Americom
Galaxy 2	74° W	E. U./Hughes Com
Satcol 1	75° W	Colombia
Comstar D4	76° W	E. U./Comsat General
TDRS C	79° W	EE. U./NASA
Nahuel A	80° W	Argentina
Satcom 4	83° W	E. U./RCA Americom
STSC1	83° W	Cuba
ASC 2	83° W	E. U./American Sat
Nahuel B	85° W	Argentina
Elstar 302	85° W	EE. UU./AT&T
Spacenet III	87° W	E. U./GTE-Spacenet
Cóndor	89° W	Pacto Andino
Westar VI S	91° W	E. U./Western Union
Galaxy 3	93.5° W	E. U./Hughes Com
Telstar 301	96° W	EE. UU./AT&T
STSC 2	97° W	Cuba
Westar IV	99° W	E. U./Western Union
Anik D1	104.5° W	Canadá
Solidaridad I	109.2° W	México
Anik D2	111.5° W	Canadá
Morelos 1	113.5° W	México
AVSAT 3	114° W	EE. UU./Aeron Radio
Morelos 2	116.5° W	México
Spacenet I	120° W	E. U./GTE-Spacenet
Galaxy 4	122° W	EE. UU./Hughes Com

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
Westar V	122.5° W	E. U./Western Union
Telstar 303	125° W	EE. UU./AT&T
ASC-1	128° W	EE. UU./American Sat
Satcom 3	131° W	E. U./RCA Americom
Galaxy 1	134° W	EE. UU./Hughes Com
Satcom 1R	139° W	E. U./RCA Americom
Aurora 1	143° W	EE. UU./Alascom
Westar VII	144° W	E.U./Western Union
Potok-3	168° W	URSS
TDRS B	171° W	EE. UU./NASA
Pacstar-2	175° W	Papúa Nueva Guinea
Finansat 1	178° W	EE.UU./Financial Sat.

SATELITES GEOESTACIONARIOS QUE OPERAN EN BANDA "Ku"

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
Eutelsat II-2	3° E	Eutelsat
Telecom 1C	3° E	Francia
Tele-X	5° E	Naciones Nórdicas
Eutelsat I-4	7° E	Eutelsat
Telecom IB	8.5° E	Francia
Eutelsat I-4	10° E	Eutelsat
Eutelsat I-4	13° E	Eutelsat
Zenon-B	15° E	Francia
AMS-1	15° E	Israel
Sicral 1A	16° E	Italia
Eutelsat I-5	16° E	Eutelsat
SABS	17° E	Arabia Saudita
Zenon-C	19° E	Francia
SES-Astra 1	19° E	Luxemburgo
Eutelsat II-3	19° E	Eutelsat
DFS-1	23.5° E	Alemania Occidental
DFS-2	28.5° E	Alemania Occidental
Videosat	32° E	Francia
Eutelsat II-1	36° E	Eutelsat
Paksat 1	38° E	Pakistán
Paksat 2	41° E	Pakistán
Loutch 2	53° E	URSS
Intelsat VI	57° E	Intelsat
Intelsat VI-1	60° E	Intelsat
Intelsat VA-F12	60° E	Intelsat
Intelsat V-F5	63° E	Intelsat
Intelsat VI-2	63° E	Intelsat
CBSS-1	65° E	China
Intelsat V-F7	66° E	Intelsat
Celestar-2	70° E	EE. UU./McCaw
Gorizont-9	75.7° E	URSS
CBSS-2	80° E	China
Loutch 3	90° E	URSS
Gorizont-13	90° E	URSS
CBSS-3	92° E	China
BS-3	110° E	Japón
SCC 1	124° E	Japón
SCC 2	128° E	Japón
Gorizont-14	140° E	URSS
JCS-1	150° E	Japón

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
JCS-2	154° E	Japón
Aussat-1	156° E	Australia
Aussat-2	160° E	Australia
Aussat-3	164° E	Australia
Pacsat-1	167.5° E	Papúa-Nueva Guinea
Celestar-1	170° E	EE. UU./Mc Caw
Intelsat V-F1	174° E	Intelsat
Intelsat V-F8	180° E	Intelsat
Intelsat V-F2	1° W	Intelsat
Telecom 1C	3° W	Francia
Telecom 1B	5° W	Francia
Zenon-A	8° W	Francia
Telecom 1A	8° W	Francia
Telecom 2-A	8° W	Francia
F-Sat-2	11° W	Francia
Loutch 1	14° W	URSS
Gorizont-12	14° W	URSS
Intelsat V-F6	18° W	Intelsat
TV-Sat 1	19° W	Alemania Occidental
Helvesat	19° W	Suiza
TDF-1	19° W	Francia
Olympus 1	19° W	Agencia Euro Espacial
Sarit	19° W	Italia
Intelsat VA-F10	24.5° W	Intelsat
Intelsat VA-F11	27.5° W	Intelsat
Eiresat-1 (Atlantic Satellite)	31° W	Irlanda
BSB	31° W	Reino Unido
Hispasat	31° W	España
Intelsat V-F4	34.5° W	Intelsat
Orion-1	37.5° W	E. U./Orion Sat Corp.
PAS 1	45° W	EE. UU./PanAmSat
Brasil-Sat C	45° W	EE. UU./Brasil
Intelsat V-F3	53° W	Intelsat
ISI-1	56° W	EE. UU./Int. Sat. Inc.
SBS-6	62° W	EE. UU./IBM
Brasil-Sat B	64° W	Brasil
ASC-3	64° W	EE. UU./American Sat
Spacenet II	69° W	E. U./GTE-Spacenet
Canada BSS1	70.5° W	Canadá
Galaxy K1	71° W	E.U./Hughes Com Inc.
Uruguay-Sat	71.5° W	Uruguay
Westar A	73° W	E. U./Western Union

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
Sat Mobile 2	75° W	E. U./Sat Mobile Co.
Expresstar B	77° W	E. U./Federal Express
Nahuel A	80° W	Argentina
Satcom K2	81° W	E. U./GE Americom
Brasil-Sat A	81° W	Brasil
Satcom K1	85° W	E. U./GE Americom
Nahuel B	85° W	Argentina
Peru-Sat	86° W	Perú
Apacenet III	87° W	E. U./GTE-Spacenet
Cuba-Sat	89° W	Cuba
SBS-4	91° W	EE. UU./IBM
Canada-BSS2	91° W	Canadá
Caribe-Sat	92.5° W	Países del Caribe
Ecuador-Sat	95° W	Ecuador
SBS-3	95° W	EE. UU./MCI
Bermudas-Sat	96° W	Bermudas
SBS-2	97° W	E. U./Comsat General
SBS-1	99° W	E. U./Comsat Genera
Gstar IV	99° W	E. U./GTE-Sapacenet
Paraguay-Sat	99° W	Paraguay
Galaxy BSS1	101° W	E. U./Hughes Com.
Gstar I	103° W	E. U./GTE Spacenet
Colombia-Sat	103° W	Colombia
Venezuela-Sat	104° W	Venezuela
Gstar II	105° W	E. U./GTE-Spacenet
Chile-Sat	106° W	Chile
M-Sat	106.5° W	Canadá
Anik E1	107.5° W	Canadá
Anik C1	107.5° W	Canadá
Anik C2	110° W	Canadá
Anik E2	110.5° W	Canadá
Solidaridad II	113° W	México
Morelos 1	113.5° W	México
Andes-Sat	115° W	Ven/Col/Bol/Ecu
Morelos 2	116.5° W	México
Anik C3	117.5° W	Canadá
Sat-Mobile 1	120° W	E. U./Sat Mobile Co.
Spacenet I	120° W	E. U./GTE-Spacenet
SBS-5	122° W	EE. UU./IBM
Expresstar A	124° W	E. U./Federal Express
Gstar III	124° W	E. U./GTE-Spacenet
Mex-Sat	127° W	México

<i>Nombre</i>	<i>Posición (Longitud geográfica)</i>	<i>Propietario</i>
ASC 1	128° W	E.U./AmericanSat Co.
Galaxy K2	130° W	E. U./Hughes Com Ir.
Westar B	132° W	E. U./Western Union
Hughes MSS1	135° W	E. U./Hughes Comm.
Mex-Sat	136° W	México
Canada-BSS3	138° W	Canadá
USA-BSS 1	148° W	EE. UU./Western
USA-BSS 2	166° W	EE. UU./Western
Pacstar-2	175° W	Papa-Nueva Guinea

Bibliografía

Satélites de Comunicaciones

Dr. Rodolfo Neri Vela

Ed. Mc. Graw Hill

Diseño de enlaces de comunicación vía satélite

Ing. Fernando Estrada Salazar

Ed. FIME-UANL

